This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

Library
of the
University of Wisconsin

DIE AUSNUTZUNG DER WASSERKRÄFTE

TECHNISCHE
UND WIRTSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN

NEUERE BESTREBUNGEN
DER KULTURLÄNDER

VON

E. MATTERN
REGIERUNGSBAUMEISTER, KGL. WASSERBAUINSPEKTOR

ZWEITE, SEHR VERMEHRTE AUFLAGE

MIT 256 ABBILDUNGEN IM TEXT

LEIPZIG
VERLAG VON WILHELM ENGELMANN
1908

ALLE RECHTE,
BESONDERS DAS DER ÜBERSETZUNG, VORBEHALTEN.

141639
MAY 1 0 1910
SV
.M42
.2
6492662

Vorwort zur 1. Auflage.

Diese Schrift ist ein Versuch, die Ausnutzung der Wasserkräfte unter dem Gesichtspunkt der Technik und des Wirtschaftslebens zu behandeln. Das Bestehende ist darin nach seiner Aufgabe und Zweckerfüllung, sowie nach den Anordnungen und Konstruktionen ausgeführter Anlagen dargestellt, und es sind die durch Forschung und Praxis gefundenen wasserwirtschaftlichen Ergebnisse und Erfahrungen im Bau und Betrieb von Wasserkraftunternehmungen — auch hinsichtlich der wirtschaftlichen Erträge — zusammengefaßt. Die Frage des künstlichen Ausgleichs im Wasserhaushalt durch Sammelbecken, die der Verfasser eingehend in der Abhandlung: »Der Talsperrenbau und die deutsche Wasserwirtschaft«[1]) erörtert hat, wird hier in dem Maße berührt, als damit die Wasserkraftnutzung in Beziehung steht. Eine Anzahl tabellarischer für Voruntersuchungen und den Entwurf erwünschter Zusammenstellungen ist dem Text beigegeben.

Die Anlage von Wasserkraftwerken wird in der Literatur meist unter dem Gesichtspunkt des Maschinenkonstrukteurs behandelt und dabei der Bau der Turbinen und anderer maschineller Einrichtungen in den Vordergrund gestellt. Die vorliegende Arbeit faßt die Nutzbarmachung der Wasserkräfte vom Standpunkt des Hydrotekten und Bauingenieurs auf. Die Gebiete des Maschinenbaues und der Elektrotechnik sind darin insoweit gestreift, als die Kenntnis dieser Zweige der Ingenieurwissenschaften für das Gesamtverständnis, die Aufstellung des allgemeinen Entwurfs, die Anordnungen der wasserbaulichen Arbeiten und die wirtschaftlichen Ertragsberechnungen notwendig ist.

Die letzten Jahre haben eine ungewöhnliche Entwicklung der Wasserkraftnutzung in allen Ländern gebracht und eine schier unermeßliche Fülle neuer Werke erstehen lassen. Die außerordentliche Mannigfaltigkeit dieser Konstruktionen bietet dem Studium eine reiche Fundgrube.

1) Berlin 1902.

Aber es möchte fast unmöglich erscheinen und könnte nur verwirrend wirken, wollte man alle diese Einzelheiten zusammentragen, und es würde unzählige Abbildungen erfordern, wenn man auch nur die wesentlichsten neueren Anlagen zur Darstellung bringen wollte. Das Studium kann nur die Erkenntnis der grundlegenden Bedingungen zum Ziele haben. Im Besitze klarer Anschauungen über allgemein gültige Leitsätze wird der Ingenieur sich schnell der Eigenart des Einzelfalles anzupassen vermögen. Die Schrift hat sich deswegen darauf beschränkt, von den konstruktiven Formen und sonstigen technischen Grundlagen charakteristische Erscheinungen herauszugreifen, soweit dies notwendig erschien, um die Ausführungen des Textes dem allgemeinen Verständnis näher zu bringen.

Am Schlusse ist eine Übersicht über den gegenwärtigen Stand der Wasserkraftfrage und die neueren Bestrebungen zur Ausnutzung der Wasserkräfte in den Hauptkulturländern gegeben, die erkennen läßt, wie heute überall die regste Tätigkeit und Entfaltung auf diesem Wirtschaftsgebiet vorherrscht.

Der Verfasser hat Gelegenheit gehabt, bei der Entwurfsbearbeitung und beim Bau mehrerer Talsperren- und Wasserkraftanlagen und den damit verbundenen wasserwirtschaftlichen Untersuchungen die günstigen Vorbedingungen kennen zu lernen, die die deutschen Mittelgebirge für die Errichtung von Staubecken und die Nutzbarmachung der Wasserkräfte darbieten. So ist die Schrift zum großen Teil aufgebaut auf der Grundlage der in der Praxis und Bauausführung gewonnenen Anschauungen, die eine Erweiterung erfahren haben durch Reisen im Auslande und die Besichtigung von Wasserkraftzentralen in der Schweiz und in Österreich. Möge sie dazu beitragen, den Gedanken einer gesteigerten Wasserkraftverwertung in Deutschland zu fördern, nachdem das Ausland auf diesem Wege zu so bedeutenden Erfolgen gelangt ist. Darin würde der Nutzen einer solchen Studie für die Allgemeinheit liegen, und diesem Wunsche verdankt die Arbeit ihr Entstehen.

Berlin, im Juni 1906.

Der Verfasser.

Vorwort zur 2. Auflage.

Die erste Auflage dieser Schrift hat eine so freundliche Aufnahme gefunden, daß alsbald eine neue Ausgabe sich als notwendig erwiesen hat. Der Verfasser findet in dieser Anerkennung den besten Ausgleich für seine Mühen. Vielleicht ist es die doppelte Behandlung des Gegenstandes — sowohl von der technischen wie von der wirtschaftlichen Seite — gewesen, die dem Buche die Anteilnahme eingebracht hat.

Der Verfasser ist mit dieser Auffassung des Themas in dieser wie in früheren Schriften einem Zuge der Zeit gefolgt. Eine kennzeichnende Wendung macht sich in der technischen Welt bemerkbar. Die Entwicklung hat den Ingenieur zu einer erweiterten Denkungsweise gedrängt. Er darf nicht achtlos an den großen wirtschaftlichen Fragen seines Arbeitsfeldes vorübergehen. Die beiden Wissensgebiete: Technik und Wirtschaft gehören untrennbar zusammen. Nur der Ingenieur, der gleichzeitig volkswirtschaftlich denkt, vermag in die Tiefe des Stoffes zu dringen, wie andererseits demjenigen, der lediglich wirtschaftliche Bildung besitzt, die Kraft eigener Überzeugung fehlt, wenn er technische Dinge vertreten will.

Es hängt in Ursache und Wirkung mit dieser Wandlung zusammen, wenn neuerdings im technischen Schriftleben die Behandlung der einschlägigen wirtschaftlichen Fragen mehr in den Vordergrund getreten ist. Daneben weist aber auch das innige Ineinandergreifen einzelner Zweige der Technik auf ihre möglichste Zusammenfassung hin. Es wurde schon im Vorwort zur 1. Auflage auf die engen Beziehungen hingewiesen, die der Wasserbau, Maschinenbau und die Elektrotechnik in ihrer Anwendung auf die Ausnutzung der Wasserkräfte besitzen. Die Entwicklung ist inzwischen ihren Weg gegangen und es scheint, daß sich eine besondere Fachrichtung, die des hydro-elektrischen Ingenieurs, anbahnt. Treffend bemerkt hierzu von Schon: Der Landmesser kann verläßlich die Flächen- und Höhenverhältnisse darstellen, der erfahrene

Zivilingenieur einen Staudamm oder einen Kanal entwerfen, der hydraulische Ingenieur die Abflußmengen messen, die Druckleitungen und vielleicht auch die Turbinen planen, der Elektroingenieur die Generatoren und das Übertragungsnetz ausarbeiten, aber keiner von diesen ist ausgerüstet, das ganze Gebiet zu beherrschen, das lediglich das Feld jenes Ingenieurs ist, der sich dem Studium und der Praxis aller Zweige dieses Arbeitsfeldes zuwendet, das gegenwärtig in schneller Ausbildung zu einem Sonderfache begriffen ist[1]).

Heute muß der Ingenieur, wenn er in diese Praxis tritt, sich mühsam aus Literatur und durch Anschauung, je nach seiner besonderen Vorbildung, die Kenntnis der anderen Zweige verschaffen. Es dauert geraume Zeit, bis man auf diesem Wege zu klaren und lebendigen Vorstellungen kommt. Auf die Zweckmäßigkeit der Vereinigung dieser Wissensgebiete durch eigene Erfahrung im Bau und bei Entwurfsarbeiten sowie durch volkswirtschaftliche Studien hingelenkt, hat der Verfasser es versucht, durch Vorträge an der Technischen Hochschule in Berlin in den Jahren 1906/07 diese Auffassung zur Betätigung zu bringen. Die Vorträge umfaßten die technischen und wirtschaftlichen Grundlagen des Talsperrenbaues und der Ausnutzung der Wasserkräfte, im wesentlichen nach dem in diesem Buche niedergelegten Gedankengange, jedoch mit besonderer Berücksichtigung der Technik der Talsperren. Diese Vorlesungen mußten leider abgebrochen werden. Aber sie boten Veranlassung, das große Feld noch einmal gründlich durchzuarbeiten, un als Folge hieraus sowie durch Hinzufügen eines weiteren dem Verfasser aus seiner Praxis zur Verfügung stehenden Materials und von Beispielen ausgeführter Anlagen ergab sich in Wort und Bild eine wesentliche Erweiterung des Buches.

Möge die Schrift auch in der neuen Form gleich nachsichtige Beurteilung finden, wie bei dem ersten Erscheinen und ihrem Zwecke weiter dienen, die Nutzbarmachung der Wasserkräfte zu fördern.

Herne (Westfalen), im September 1908.

Der Verfasser.

1) The Engineering Magazine, Mai 1907, S. 191.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Geschichtlicher Rückblick 1

II. Die Vorarbeiten zu Wasserkraftunternehmungen 7

A. Übersicht der Gesamtarbeiten 7

B. Hydrographische Ermittlungen im allgemeinen 9

C. Gesichtspunkte für die Wahl eines Talbeckens zur Wasseraufspeicherung für Kraftzwecke 17

D. Geologische und Bodenuntersuchungen 23

E. Geodätische Arbeiten 26

F. Entwurfsaufstellung für Talsperren- und Wasserkraftanlagen 35

G. Grunderwerb 41

III. Die technischen Grundlagen zur Ausnutzung der Wasserkräfte . . . 42

A. Die Wassermenge 42

Ermittlung der Niederschlags- und Abflußmengen 43

Ausgleich des Wasserabflusses 70

Betriebswassermenge für Flußwasserkraftwerke 79

Wasserwirtschaftspläne zur Ermittlung der Betriebswassermenge für Talsperren-Kraftwerke 124

B. Das Gefälle 124

Allgemeines 124

Aufstauung an Wehren 129

Triebwerkkanäle und Stollen 150

Druckrohrleitungen 177

Gefällgewinnung an natürlichen Seen 225

Gewinnung von Gefällhöhe durch Aufstauung in Sammelbecken 233

Die Nutzbarmachung von Wassergefälle durch Gewinnung von Druckluft 238

C. Das Kraftwerk und seine Einrichtung 243

Allgemeines 243

Die Lage des Kraftwerkes 243

Die Einrichtung des Kraftwerkes 245

Maschinenstärke 261

Die Wassermotoren 266

Nebenanlagen 281

Architektur 282

D. Die Wasserkraftnutzung am Gewinnungsort und die Fernübertragung . . 308

Kraftnutzung am Gewinnungsort und ältere Kraftübertragungsarten . . . 308

Kraftübertragung mittels Druckwasser und Druckluft 313

Elektrische Kraftübertragung 316

Ausbau des Kraftwerkes für elektrische Zwecke 321

Seite

Wahl des Betriebsstromes 324
Wahl der Stromart für das Elektrizitätswerk Solingen 327
Vergleichende Untersuchung über die elektrische Kraftübertragung vom Talsperren-Kraftwerk auf dem Geiersberge bei Nordhausen nach dem 1,5 km entfernten Elektrizitätswerke in der Stadt. Leistung 170 PS., Übertragungslänge 1,5 km 329
Vergleichende Voruntersuchung über die Fernübertragung von 20000 PS. auf 136 km mit Wechselstrom (Drehstrom) oder Gleichstrom für das Kraftwerk an der Albula 330
Sicherung des Betriebes und Einrichtung der Fernleitungen 333
Wirkungsgrad der Umsetzung und elektrischen Fernübertragung der Wasserkräfte 346
Kraftübertragung ohne Draht 349
Ausgeführte Verteilungsnetze 350
E. Vereinigung von Wasser- und Wärmekraft. Wasserkraftnutzung an kanalisierten Flüssen 361
Vereinigte Wasser- und Wärmekraftanlagen im allgemeinen 361
Wasserkraftnutzung an Kanälen und kanalisierten Flüssen 364
Ausgeführte Anlagen zum gemeinschaftlichen Betrieb für Schiffahrts- und Kraftzwecke 371

IV. Die wirtschaftlichen Grundlagen zur Ausnutzung der Wasserkräfte . 384
A. Allgemeines 384
B. Die Kosten der Wasserkräfte 388
C. Der Ertrag der Wasserkraftunternehmungen. Tarife und Betriebsergebnisse 404
Vorbereitende Maßnahmen für den Kraftabsatz 404
Bekanntmachung und Aufforderung zur Anmeldung des Anschlusses an das städtische Elektrizitätswerk zu Solingen 405
Ertragsberechnungen 408
Tarife und Betriebsergebnisse 438
D. Vergleich zwischen Wasser- und Wärmekraft in ihrer wirtschaftlichen Bedeutung 466
Vergleichende Voruntersuchungen für eine Talsperren- und Wasserkraftanlage 485
Wirtschaftliche Berechnungen über den Wert der Wasserkräfte an Kanälen und kanalisierten Flüssen 490

V. Neuere Bestrebungen zur Ausnutzung der Wasserkräfte in den Kulturländern 501
1. Die Wasserkraftfrage der Gegenwart 501
Wirtschaftsgebiete für die Verwertung der Wasserkräfte 502
Statistik der Wasserkräfte 504
Länder mit beginnender Entwicklung der Wasserkraftnutzung 506
2. Der heutige Stand der Wasserkraftnutzung in den Kulturländern 510
A. Die Schweiz 510
Wasserwirtschaftliche Verhältnisse 512

Seite

Schweizerische Wasserkraftanlagen 516
Wirtschaftspolitische Verhältnisse der Wasserkraftnutzung 522
B. Österreich-Ungarn 528
Neuere wasserwirtschaftliche Unternehmungen und Voruntersuchungen . 528
Österreichische Wasserkraftanlagen 534
C. Italien 536
Entwicklung der Wasserkraftnutzung 536
Staatliche Förderung der Wasserkraftnutzung 538
Hydroelektrische Kraftwerke in Oberitalien 542
D. Frankreich 544
Wasserkraftverhältnisse im Südosten Frankreichs 546
Die Wasserkraftverhältnisse im Zentrum, Westen und Norden Frankreichs 552
Staatliche Förderung der Wasserkraftausnutzung und der Kongreß de la Houille Blanche in Grenoble 552
E. Schweden. Norwegen 555
Neuere Wasserkraftanlagen 555
Gewerbliche und staatliche Verwertung der Wasserkräfte in Schweden und Norwegen 557
F. England 560
G. Amerika 564
Die amerikanischen Wasserkraftverhältnisse 564
Neuere amerikanische Wasserkraftunternehmungen 569
Wasserkraftnutzung in Kalifornien und am Niagarafall 578
Wirtschaftspolitische Momente in der amerikanischen Wasserkraftverwertung 583
H. Deutschland 586
Rückblick auf die Entwicklung der neueren deutschen Wasserkraftnutzung 586
Neuere deutsche Wasserkraftunternehmungen 588
Leitende Gesichtspunkte für die deutsche Wasserkraftverwertung . . . 615

Register 629

I. Geschichtlicher Rückblick.

Nach geschichtlichen Überlieferungen hat die Ausnutzung der Wasserkräfte schon früh im Altertum stattgefunden. Es soll das Volk der Chalder gewesen sein, das sich in dieser Kunst um das Jahr 600 vor unserer Zeitrechnung hervortat, wovon noch heute bestehende Kanäle Zeugnis geben. Auch aus Deutschland sind Nachrichten von frühzeitiger Betätigung vorhanden. Die Kunst, Wassermühlen zu bauen, sollen die Deutschen von den Römern gelernt haben. Schon 379 erwähnt Ausonius, wie Klehmet mitteilt[1]), eine Marmormühle in einem Seitenbache der Mosel. In Urkunden des 8. und der folgenden Jahrhunderte werden Mühlenanlagen vielfach erwähnt. Östlich der Elbe wird unter anderen der Mühlen in Nahmitz bei Lenin um 1190, im Dorfe Wedding bei Berlin um 1251, in Spandau um 1258 gedacht. Nach den Mitteilungen von Grasser[2]) soll sich urkundlich nachweisen lassen, daß in Berlin im Jahre 1286 Mühlen und in Augsburg 1337 Schneidesägen mit Wasserkraft betrieben wurden. Über Mühlenanlagen in Posen und Schlesien sind uns Nachrichten aus dieser Zeit ebenfalls erhalten.

Auch im Bergischen Lande fand an der Wupper, Ruhr und Sieg und ihren Nebenflüssen frühzeitig im Mittelalter die Verwertung der Wasserkräfte statt. Die Wassergefälle in den Tälern betrieben die Hammerwerke, in denen die Bearbeitung des Eisens stattfand. Auf dieser Grundlage der mechanischen Kraftleistung des Wassers als der einzigen natürlichen Vorbedingung entwickelten sich die Anfänge der heute in hoher Blüte stehenden Kleineisenindustrie jener Bezirke[3]).

Man suchte in dieser Zeit nicht nach Wasserkräften. Man schloß sie auf, wo sie sich darboten und sie wurden in naturgemäßer Ent-

1) Mitteilungen des Vereins für die Geschichte Berlins. 1907. Nr. 4.

2) Zeitschr. d. V. d. Ing. 1895. S. 294.

3) S. des Verfassers Schrift: Der Talsperrenbau und die deutsche Wasserwirtschaft. Berlin 1902. S. 63.

wicklung Ansiedlungspunkte menschlicher Kultur. Nach allgemeinen praktischen, auf Erfahrung beruhenden Regeln, noch nicht auf wissenschaftlicher Grundlage, geschah die Einrichtung der Triebwerke.

Die Geschichte der Entwicklung der Wasserkraftmaschinen ist zugleich die der Wasserkraftnutzung überhaupt. Indem man diesen Gang der Dinge überblickt, lassen sich nach Zodel[1]) drei Hauptabschnitte erkennen.

1. die Wasserkraft als Unterstützung der Tier- und Menschenkraft,
2. die Wasserkraft im Zeitalter der Dampfmaschine, und
3. die Wasserkraft im Zeitalter der Elektrizität.

In der ersten Entwicklungsstufe erfolgte die Nutzbarmachung in den einfachsten baulichen Formen und lediglich durch Wasserräder. Die theoretischen Untersuchungen über die Wirkungsweise der Räder heben schon im 16. Jahrhundert an. Die geringe Nutzwirkung der alten Konstruktionen von nur 30 bis 35 v. H. der rohen Wasserkraft steigerte sich durch Verbesserungen auf 60, ja 70 bis 80 v. H., und einen bemerkenswerten Fortschritt bedeutete die Einführung des Eisens als Baustoff gegenüber der früheren alleinigen Verwendung von Holz. In dem zweiten Abschnitt treten neben den vervollkommneten Rädern die Turbinen auf. Die Anfänge des Turbinenbaues reichen bis in das 18. Jahrhundert zurück, und Bernoulli (Reaktionswirkung), Segner (Wasserrad), Euler (Leitapparat) u. a. sind die bemerkenswerten Förderer der Vorstudien[2]). Die Technik der Triebwerke paßte sich allmählich der beginnenden wissenschaftlichen Erkenntnis an. Die praktische Betätigung begann im Anfange des 19. Jahrhunderts, wobei Frankreich den Ausgangspunkt bildete. Zunächst wurden diese Motoren für niedere Gefälle errichtet. Diese Neuerung führte in Amerika zu bedeutenden Kraftanlagen, von denen vielleicht die größte jene im Merrimac-Flusse in den Vereinigten Staaten ist, die im Jahre 1822 mit 10000 PS. bei der Stadt Lowell erbaut wurde[3]). Man nannte dieses Werk bezeichnend »The pioneer large water power«. Einen weiteren Schritt vorwärts bedeutet die Umschließung der Turbine mit einem wasserdichten Gehäuse, zu dem das Kraftwasser mittels geschlossener eiserner Rohrleitung geführt wird. Diese Erfindung lieferte eine der Hauptkonstruk-

1) Schweizerische Bauz. 1903.
2) W. Müller, Francisturbinen.
3) Progress in Hydraulic Power Development. Eng. Rec. 1903 I S. 24.

tionsformen der Neuzeit. Während die alte Wasserkrafttechnik ihre Aufmerksamkeit lediglich der Ausnutzung großer Wassermengen mit kleinen Gefällen zugewandt hatte, eröffnete diese neue Erscheinung die Bahn zu dem entgegengesetzten Bestreben: Verwertung hoher Gefälle bei kleiner Abflußmenge. Als die erste Anlage dieser Art wird das Kraftwerk Genesee Falls bei Rochester in Nordamerika vom Jahre 1857 angegeben. Die Turbinen arbeiteten hier unter einem Druck von 27 m. In gleicher Zeit entstanden auch die ältesten Hochdruckanlagen an den Niagarafällen. Auch in dieser Entwicklungsperiode waren die Fundstätten der Wasserkräfte noch in uneingeschränktem Maße Konzentrationspunkte der Industrie.

Es würde hier zu weit führen, die Einzelheiten der vielen Konstruktionen zu erörtern, die den Weg der Entwicklung des Turbinenbaues bis zu den heute gebräuchlichen Formen bezeichnen. Die bedeutendsten Fortschritte heften sich an die Namen Girard, Francis und Pelton; die Erfindungen dieser Männer in ihren mannigfachen Abstufungen beherrschen die Gegenwart. Es ist naturgemäß, daß der Bau von Wasserkraftmaschinen dort besondere Pflege fand, wo die Natur durch die günstige Geländegestaltung zur Ausnutzung der Wasserkräfte anregte. Am lebhaftesten haben sich auf diesem Gebiete betätigt Frankreich, die Schweiz, Amerika und Deutschland; neuerdings auch Österreich, Italien, Schweden und Norwegen.

Die volle Ausbildung erlangte der Turbinenbau erst durch die Verwertung der Elektrizität bei Ausnutzung der Wasserkräfte. Der geschichtliche Rückblick läßt erkennen, wie vordem die Wasserkraftwerke mit nur kleinen Einheiten arbeiteten. Gewinnung und Verwertung der Kraft lagen damals an einer Stelle. Innerhalb des Fabrikgebäudes oder doch auf nur kurze Strecke außerhalb erfolgte die Übertragung mittels Rädergetriebe, Riemen oder Drahtseil von der Kraft- zur Arbeitsmaschine. Motore bis zu 200 PS. Leistung gehörten zu den Seltenheiten. Der Aufbau der großen Einheiten begann mit der Einführung der Elektrizität. Die erste größere Einheitsleistung brachte nach Zodel die Anlage von Neuhausen am Rhein mit einer 600 PS.-Maschine. Turbine und Dynamo saßen hier auf einer gemeinsamen senkrechten Achse. Dann trat die elektrische Fernübertragung hinzu, die die Wasserkraftverwertung loslöste von der Gebundenheit der Scholle und in den Überlandzentralen die neueste Form der Erscheinung darstellt. Es ist bekannt, daß diese

Aufgabe zuerst praktisch gelöst wurde durch die Übertragung Lauffen-Frankfurt (177 km) im Jahre 1891. Die Krafteinheiten steigerten sich in den nächsten Jahren in Europa auf 2200 PS. bei dem Werke Mailand-Paderno und auf 3000 PS. am Glommen bei Christiania, vor allem aber in Amerika. Dort wurden an den Niagarafällen im Jahre 1900 Turbineneinheiten von 5500 PS. eingebaut. Die Shavinigan-Anlage erhielt 1902/03 6000 PS.- und jetzt 12500 PS.- und neuerdings die Niagarafälle 10000 PS.-Einheiten. Ein Hochdruck-Tangentialrad für 320 m Gefälle und 13000 PS. Leistung wurde im Jahre 1906 von einer Fabrik in San Francisco für die California Gas and Electric Corporation gebaut. Es mag hier interessieren, daß zurzeit die größte Wassermenge in den Werken von Sault St. Marie (Michigan) mit 900 cbm sekundlich ausgenutzt wird, während das größte Nutzgefälle von 950 m das Kraftwerk Vouvry in der Nähe des Genfer Sees besitzt. Das Bestreben zum Großbetriebe, das heute auf allen Gebieten gewerblicher Tätigkeit hervortritt, ist damit auch in der Wasserkraftausnutzung unverkennbar dargelegt. Maßgebend ist ferner, den höchsten Wirkungsgrad der Anlage zu erzielen. Aus der natürlich vorhandenen Energie soll die beste Nutzwirkung herausgeholt werden, unter Preisgabe eines Mindestmaßes der in den Maschinen unvermeidlichen Verluste. Man ist sich klar über die Begrenztheit der natürlichen Energien sowie über die hohe Bedeutung, die mechanische Arbeitsleistungen im heutigen Wirtschaftsleben haben.

Gleichlaufend mit der Vervollkommnung der hydraulischen Maschinen fand die Kenntnis der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse in den Gebirgstälern und an den Flußläufen die lebhafteste Förderung. In der besseren Übersicht, die dadurch über die Möglichkeit der Erschließung von Wasserkräften gewonnen wurde, lag ein wesentlich anregendes Moment. Als der bedeutendste Eingriff in die natürliche Beschaffenheit der Wasserläufe kennzeichnet sich die künstliche Ausgleichung der Abflußmengen durch Talsperren und Sammelbecken. Diese der neuesten Zeit angehörenden Bestrebungen sind in Deutschland untrennbar verbunden mit dem Namen Intze.

Der Gedanke, durch künstliche Aufstauung in wasserreicher Zeit Vorräte zu schaffen für die Trockenheit, ist sehr alt und die geschichtliche Entwicklung des Talsperrenbaues reicht in vergangene Jahrhunderte weit zurück. Vornehmlich sind es die Länder der Tropen wie China, Indien, Ägypten, die zu diesen Maßnahmen greifen mußten. Die Wasserauf-

sammlungen erfolgten hier für die landwirtschaftliche Bewässerung und die Trinkwasserversorgung. Der Talsperrenbau im Dienste der Wasserkraftnutzung fand seine erste Betätigung in Deutschland im Harz, dessen Teichanlagen noch heute erhalten und im Betriebe sind. Ihre Entstehung reicht bis in das 16. Jahrhundert zurück. Die bedeutendste Anlage ist hier der Oderteich mit 1,7 Mill. Kubikmeter Stauinhalt. Der Gesamtstauinhalt der Harzer Teiche beträgt etwa 10 Mill. Kubikmeter. Diese Talsperren sind als Erddämme errichtet, die ältesten gemauerten Bauwerke Europas, aus dem 16. Jahrhundert stammend und noch heute vorhanden, finden sich in Spanien. Die Araber sollen hierher die Kunst des Mauerwerksbaues verpflanzt haben. Bemerkenswert ist, daß diese alten spanischen Mauern im Grundriß bogenförmig gebaut sind.

Der moderne Talsperrenbau beginnt in der Mitte des abgelaufenen Jahrhunderts, vor allem in Frankreich, das den Ruhm hat, zuerst die Querschnittsbildung der Sperrmauern auf genauer theoretischer Grundlage durchgeführt zu haben. In Deutschland setzte diese Bewegung zur Begründung einer besseren Wasserwirtschaft in den Gebirgstälern in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts ein.

Wenn zwar die ersten französischen Staubeckenanlagen zum Teil dem Hochwasserschutz, zum Teil der Kanalspeisung, bei uns vielfach der Trinkwasserversorgung und dem Hochwasserschutz dienen, so darf man doch aussprechen, daß die neuzeitlichen Talsperrenunternehmungen besonders in Deutschland und Amerika vornehmlich der Kraftgewinnung gewidmet sind, zum mindesten ist bei fast allen Talsperrenanlagen, selbst wenn sie einen andern Hauptzweck erfüllen, die Kraftausnutzung als wertvolle Erweiterung ihrer Nutzbarkeit hinzugetreten. Den ersten Anstoß zu diesen Bauten gab das Bestreben, die Triebwerke unserer Gebirgstäler, die unter starkem Wassermangel in sommerlicher Trockenheit litten, durch vermehrte Wasserzuführung wettbewerbfähig mit den Dampfwerken zu machen. In weiterer Folge entstanden dann eine Reihe von Staubecken für zentrale Kraftanlagen.

Die Wiege des neueren deutschen Talsperrenbaues ist in den Tälern des rheinisch-westfälischen Schiefergebirges zu suchen. Weiterhin hat er Bedeutung gewonnen in den Vogesen, in Schlesien und im Harz. Die Gegenwart bringt eine Reihe größerer Bauausführungen dieser Art in allen Teilen Deutschlands. Besonders lebhaften Aufschwung nimmt heute auch das amerikanische Talsperrenwesen.

In dieser geschichtlichen Betrachtung darf man nicht die Fortschritte auf dem Gebiete der konstruktiven Entwicklung der Bauformen übersehen. Für die Entfaltung der neuzeitlichen Mauertechnik kann die für Wasserbauten heute unentbehrliche Massenerzeugung von Zement, Traß und anderen Bindemitteln als Vorbedingung angesehen werden. Die reichlichere Verwendung von Beton und Eisenbeton hat die Vorzüge erwiesen, welche diese Baustoffe für die leichte Herstellung der geschwungenen Formen der Turbinenkanäle besitzen. Der Ausbau von Stollen in den Gebirgen zur Abkürzung der Wasserwege und die Möglichkeit der Eisentechnik, Rohrleitungen zu liefern, die den hochgespannten Druck hoher Nutzgefälle mit Sicherheit übertragen können, wirkten in gleichem Sinne fördernd. Alle diese Fortschritte waren notwendig, um die bedeutenden Wasserkraftunternehmungen der Gegenwart erstehen zu lassen.

II. Die Vorarbeiten zu Wasserkraftunternehmungen.

A. Übersicht der Gesamtarbeiten.

Die Vorarbeiten zu Wasserkraftanlagen sind technischer und wirtschaftlicher Art. Die bestimmenden Größen in technischer Hinsicht sind die Wassermenge Q und das Nutzgefälle h, deren Zusammenwirken als wirtschaftlichen Wert die Rohkraft Qh liefert. Das Produkt Qh legt die Kraftleistung des Werkes fest, sofern nicht eine Kraftergänzung durch Wärme stattfindet, während sich die mechanisch nutzbare Leistung an der Welle des Wassermotors, in Pferdestärken (75 mkg) ausgedrückt, ergiebt zu $N = \frac{Q \cdot h \cdot \eta}{75}$. Bei einem mittleren Wirkungsgrad $\eta = 0{,}75$, h in m und Q in cbm ist $N = \frac{1000 \cdot Q \cdot h \cdot 0{,}75}{75} = 10\, Q \cdot h$. Die Voruntersuchungen für die Ermittelung der Zahlenwerte von Q und h bedingen eingehende Geländeaufnahmen, Wasserabflußmengen-Messungen oder -Berechnungen und geologische Studien; letztere haben bei den neueren Talsperrenanlagen einen nicht unwesentlichen Raum eingenommen. In engstem Zusammenhang hiermit steht die Frage nach der Lage des Kraftwerkes und seiner Einrichtung und der Fernübertragung der Wasserkraft. Alle diese Feststellungen halten sich bei der vorläufigen Planung eines Unternehmens in großen Zügen. Aber vor allem sind dabei die hydrographischen Untersuchungen von Bedeutung. Man ist früher oft zu leicht darüber hinweggegangen. Verfehlte Anlagen ohne ausreichenden Wasserzufluß haben dann zu enttäuschten Hoffnungen geführt und wenn heute noch manches Mißtrauen gegen die Wasserkräfte zu beseitigen ist, so haben manche solcher Fehlschläge nicht unwesentlichen Anteil daran. Wasserbau, Maschinenbau und Elektrotechnik arbeiten hierbei Hand in Hand; aber dem ersteren fällt der Hauptanteil

zu. Bei Ausnutzung der Wasserkräfte, sagt E. Reichel, sind in den weitaus meisten Fällen nicht die Turbinen selbst der maßgebende Faktor, sondern die örtlichen Verhältnisse und damit im Zusammenhange die oft außerordentlich hohen Summen und eine jahrelange Arbeitskraft in Anspruch nehmenden Wasserbauten. Der Konstruktion und dem Einbau der Turbinen müssen diese wichtigen Arbeiten vorangehen. Sie sind es, an welche die Ertrags- und damit die Lebensfähigkeit der ganzen Anlage geknüpft ist, ohne welche die größten Wasserkräfte brach liegen bleiben müssen, nicht aber die — einige wenige Hundertstel mehr oder weniger Nutzwirkung gebenden — Turbinen[1]). Die Vorarbeiten zu Wasserkraftanlagen bedingen daher eine Übersicht auch über das Arbeitsgebiet des Maschinenbaues und der Elektrotechnik, deren Einrichtungen bei den Überlandzentralen stets einen ansehnlichen Anteil an den Gesamtkosten haben, insoweit, als dies die allgemeine Gestaltung der baulichen Anordnungen des Krafthauses, der Kraftverteilung und der Aufstellung von Kostenüberschlägen erheischt.

Gleichen Schritt mit diesen technischen Untersuchungen müssen die wirtschaftlichen Aufrechnungen nehmen. Es ist selten, daß eine Anlage durch die gegebenen natürlichen Verhältnisse eindeutig bestimmt ist; meist werden mehrere Möglichkeiten der Ausführung vorhanden sein. Daraus ergeben sich Kosten- und Vergleichsberechnungen und Wertschätzungen, um die jährlichen Ausgaben mit den Einnahmen des geplanten Unternehmens in Einklang zu bringen. Die Frage der Absatzfähigkeit der gewonnenen Kraft steht dabei in erster Linie. Haben diese Ermittlungen zu günstigen Ergebnissen geführt, so ist die Aufgabe der Geldaufbringung zu lösen; Wasserkraftwerke sind heute meist private Unternehmungen, und es ist für den Ingenieur oft schwierig, Fernerstehenden den Kern und das Wesen eines Planes zu entwickeln, sie von dem erreichbaren Nutzen zu überzeugen und für die Ausführung zu erwärmen. Das Verständnis für den Geldwert der Wasserkräfte ist in Deutschland erst im Erwachen begriffen.

In diesen wasserwirtschaftlichen Untersuchungen machen sich noch eine Reihe von Einflüssen geltend, die in der Eigenart des fließenden Wassers und in seinen vielseitigen Wirkungen auf unsere Lebensverhältnisse begründet sind. Es sind dabei zu berücksichtigen die landwirt-

1) Studien über Wasserkräfte in Amerika.

schaftlichen Interessen für die Bewässerung und Düngung der Ländereien, die Forderungen des Hochwasserschutzes und der Schiffahrt, die bisherige Nutznießung des Wassers und die Schadloshaltung für seine Entziehung. Diese Gesichtspunkte sind besonders hervorgetreten bei den neueren Talsperrenanlagen. In dem Entwicklungsgange dieser großen Unternehmungen ist mehr und mehr die Erkenntnis zutage getreten, daß die zweckmäßige Wasserkraftverwertung eines Landes sich nicht in zusammenhanglosen Einzelanlagen verlieren darf, vielmehr hier ein einheitlich zu behandelndes Wirtschaftsgebiet vorliegt. Genossenschaften und Gesellschaften haben sich gebildet oder Staat und Gemeindeverbände haben die Ausführung unternommen. Es ist naturgemäß schwierig, diese verschiedenartigen Interessen zu vereinigen und eine billige Kostenverteilung herbeizuführen.

In kurzen Umrissen sind hier die Vorarbeiten zu Wasserkraftanlagen gezeichnet. In den nachfolgenden Abschnitten sollen die berührten Gebiete ausführlicher besprochen werden, einige vorbereitende Arbeiten allgemeiner Art jedoch vorweg behandelt werden. Dabei sind technisch weniger die konstruktiven Anordnungen im einzelnen zur Darstellung gebracht, als die hydrographischen Beziehungen und die allgemeinen Gesichtspunkte für die Fassung des Wassers, seine Zuführung zu den Turbinen, sowie für den Ausbau des Kraftwerkes und die Nutzbarmachung der Energie erörtert. Diese grundlegenden Bedingungen sind es, die der Ingenieur zunächst prüfen muß, wenn er an die Planung eines Wasserkraftunternehmens herantritt. Wenn diese Grundlagen erkannt sind, so baut sich darauf die weitere Aufgabe des Konstrukteurs auf, der sich mit seiner Lösung den gegebenen, in jedem Falle sehr verschiedenen örtlichen Verhältnissen anpassen muß.

B. Hydrographische Ermittlungen im allgemeinen.

Der Erfolg bei der Verwertung des Wassers für nutzbringende Zwecke — Schiffahrt, Bewässerung, Trinkwasserversorgung und Kraftgewinnung —, sowie bei dem Kampf des Menschen gegen die schädigenden Wirkungen des Wassers — Hochwasserschutz — kann nur erreicht werden, wenn die Maßnahmen des Ingenieurs sich aufbauen auf einer klaren Kenntnis der gegebenen Bedingungen und der anwendbaren Mittel.

Die Hydrographie im weiteren Sinne umfaßt alle diese Arbeiten, die notwendig sind, um die Unterlagen für eine zweckmäßige Wasserwirtschaft zu schaffen. Soll sie diese Aufgabe lösen, so muß sie neben der Erforschung der Wasserverhältnisse in den Wasserläufen auch der Gelände- und Flußbettbeschaffenheit, den geologischen Eigenschaften des Untergrundes und der Chemie und Bakteriologie des Wassers ihre Aufmerksamkeit zuwenden. Das ist ein weites Gebiet, das sich in die Arbeit des Meteorologen, Hydrotekten, Geologen, Geodäten, Chemikers und Bakteriologen teilt.

Wenn es Sache der reinen Wissenschaft ist, die allgemein gültigen Sätze der Erkenntnis und das tiefere Wesen der Dinge zu erforschen, so hat der ausübende Ingenieur als Vertreter der angewandten Wissenschaften, sobald er an die Planung eines Wasserkraftunternehmens herantritt, vor allem den Wunsch, praktisch brauchbare Ergebnisse vorzufinden, die sich für den Einzelfall zu vorläufigen Untersuchungen verwerten lassen. Ihn interessieren Niederschlagsverhältnisse und Gesetzmäßigkeiten zwischen Niederschlag und Abfluß, und die Höhenverhältnisse, um die notwendigen Größen für die Wasserkraftberechnung in solchen Grenzen der Sicherheit zu entnehmen, die für eine allgemeine Untersuchung ausreichend sind. Die genaue Ermittelung für den Bauentwurf sollte in allen Fällen Sache besonderer Messungen sein. Die Beobachtung der hydrographischen Verhältnisse an den unteren schiffbaren Teilen der Ströme reicht bis in das 18. Jahrhundert zurück. Diese Untersuchungen haben in Deutschland bereits in der zweiten Hälfte des abgelaufenen Jahrhunderts zu systematischen Bearbeitungen der Hauptstromsysteme geführt, deren Ergebnisse in den großen Werken über den Rhein, die Oder, Elbe, Memel, Weichsel, Weser und Emsstrom niedergelegt sind[1]). An den nicht schiffbaren Flüssen und Gebirgsbächen, die das eigentliche Gebiet für eine ausgebreitete Wasserkraftverwertung bilden, haben erst die beiden letzten Jahrzehnte eine bessere Kenntnis gewinnen lassen.

Hydrometrische Ermittlungen haben in der ersten Entwicklungsperiode der neueren Wasserkraftnutzung stark im Hintergrunde gestanden. Man verfolgte keine weitgreifenden Ziele, sondern begnügte sich für die Anlage eines Triebwerkes mit naheliegender Orientierung. Das ist erklärlich. Es ist sicher, daß hydrometrische Arbeiten einen großen

1) s. die Veröffentlichungen im Auftrage des preußischen Wasserausschusses des Zentralbureaus für Meteorologie und Hydrographie im Großherz. Baden usw.

Aufwand an Zeit und Geld erfordern, die meist über die Zwecke und die Leistungsfähigkeit des Einzelunternehmens hinausgehen. Zudem ist das Sondergebiet der Hydrographie ein entlegenes Wissensgebiet, in das einzudringen tiefes und mühevolles Studium erfordert. Es sind oft Untersuchungen auszuführen mit einer großen Zahl von Veränderlichen, die die Verhältnisse auf den ersten Blick wenig klar erscheinen lassen. Die Gefahr zu Trugschlüssen liegt da nahe. Die Aufstellung eines übersichtlichen und verläßlichen Wasserwirtschaftsplanes ist nicht jedermanns Sache.

Diese ersten Arbeiten waren daher meist zusammenhanglose Untersuchungen einzelner Niederschlagsgebiete oder Flußstrecken für den bestimmten Zweck einer Talsperren- oder Wasserkraftanlage — aber ihre Ergebnisse haben, zumal mit wachsender Zahl der Einzelermittlungen, immerhin auch die allgemeine Kenntnis gefördert und vor allem das Interesse wachgerufen. Hervorzuheben sind hier in Deutschland die Beobachtungen und Messungen für die Stauhweiher in den Vogesen, die rheinisch-westfälischen Talsperren und die Hochwasserschutzbecken in Schlesien. Im Auslande haben in der Schweiz, in Oberitalien, im Südosten Frankreichs, in Schweden und Norwegen ausgeführte Wasserkraftanlagen, in Nordamerika der ausgebreitete Talsperrenbau den Anstoß zu Feststellungen auf diesem Gebiet gegeben. Die Hydrographie als Wissenschaft ist eigentlich erst in den letzten Jahren entstanden und in stetiger Erweiterung begriffen. Man wird in diesem Entwicklungsgange auch einen Grund für die früher mehr oberflächliche Behandlung dieses Gegenstandes bei den Projektierungen erblicken dürfen.

Die allerneueste Zeit läßt erkennen, daß man bemüht ist, auch die hydrographischen Verhältnisse der Gebirgsflüsse systematisch zu durchforschen. Die Absicht bei diesem Vorgehen ist, den Vorrat der Wasserkräfte des Landes und den Grad seiner Verwertung für wirtschaftliche Zwecke kennen zu lernen.

Bemerkenswert für die Vorarbeiten zu Wasserkraftunternehmungen und von allgemeinerem Interesse ist die Tätigkeit des schweizerischen hydrometrischen Bureaus. Es scheint, daß diese Arbeiten im gegebenen Falle als Anhalt dienen können bei Untersuchungen, die ein ganzes Flußsystem oder die Ermittlung der Wasserkräfte eines Landes zum Gegenstande haben. Es mögen darum einige Mitteilungen hierüber folgen.

Die Tätigkeit dieses Bureaus ist auf die ganze Schweiz mit 57 700 qkm Flächengebiet ausgedehnt und diese Gesamtfläche in 14 Abteilungen zerlegt. In jedem Gebiete werden ermittelt

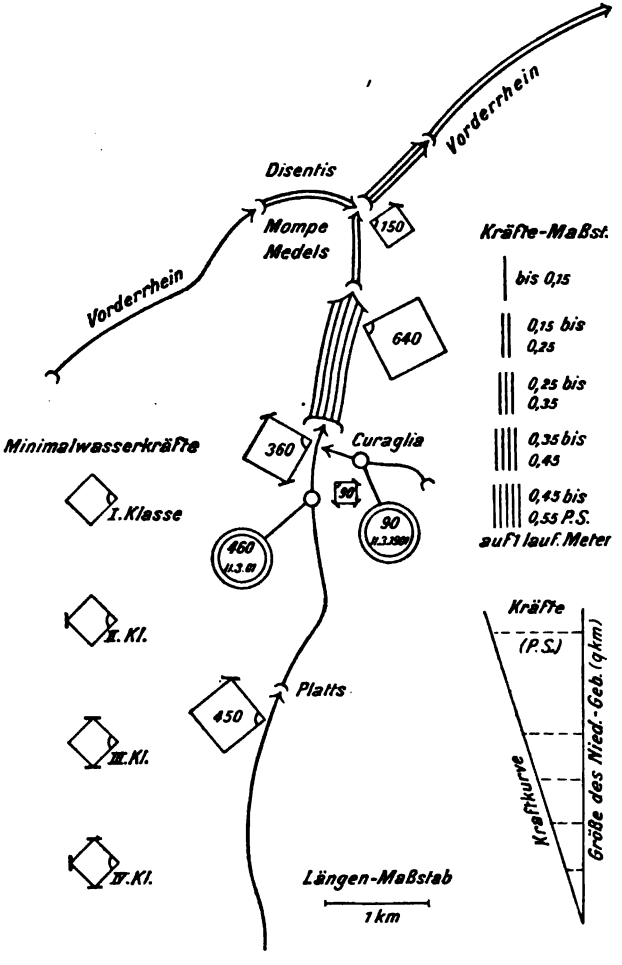


Abb. 1. Schematische Darstellung der Wasserkräfte des Medelserrheins.

1. die Gebietsgrößen und deren Gestaltung,
2. die Wasserbewegung der Flußläufe mit Pegelstationen,
3. die Gefällsverhältnisse, sowie deren Nutzbarkeit,
4. die Wasserkraftverhältnisse mit Rücksicht auf Mittel- und Niedrigwasser.

Zuerst wurde das Rheingebiet in Angriff genommen. Die Ergebnisse der Untersuchungen sind veröffentlicht (1896). Später sind andere für das Gebiet der Rhone, Reuß usw. gefolgt.

Der Zweck dieser Arbeiten ist, daß jeder Interessent, ohne viel Mühe und Zeit aufwenden zu müssen, nicht allein über die Lage und Größe irgendeiner noch ungenutzten Wasserkraft sich unterrichten, sondern auch beurteilen kann, ob die betreffende Wasserkraft wirtschaftlich zweckmäßig nutzbar gemacht werden kann.

Bei den Meßarbeiten des Wasserabflusses sind vor allem Schraubenflügel zur Anwendung gekommen mit einer Konstruktion, die das Messen in flachen Wasserläufen und an den Turbinenkammern ermöglicht. Dieses Verfahren erscheint besonders dort empfehlenswert, wo der Einbau von Meßwehren nicht angängig oder zu kostspielig ist. Daneben hat das Bureau in bemerkenswerter Weise ein Pegel- und Festpunktnetz über das Land ausgebreitet, wie ein solches als die unerläßliche Vorarbeit für den vorliegenden Zweck wird angesehen werden müssen. Die Ergebnisse sind graphisch in übersichtlicher Weise zusammengestellt und man kann daraus ohne viele Mühe die auf den einzelnen Flußstrecken erschließbaren Wasserkräfte ableiten. Abb. 1 zeigt eine solche zeichnerische Darstellung der Minimalwassermengen und Minimalwasserkräfte des Medelserrheines. Die in dem Flußlaufe vorhandenden Wasserkräfte sind in Pferdestärken für den laufenden Meter der einzelnen Strecken gekennzeichnet. Dabei sind allgemein 5 Klassen durch die Anzahl der Striche im Flußbande unterschieden. Die gemessenen Minimalwassermengen sind in Doppelkreisen für die einzelnen Flußstrecken veranschaulicht und die Minimalkräfte für die einzelnen Flußabschnitte durch beigesetzte Quadrate mit eingeschriebenen Zahlen (P. S.) noch besonders hervorgehoben. Hierfür sind vier Klassen gebildet. Die der ersten Klasse angehörigen Wasserkräfte können am leichtesten und zweckmäßigsten ausgenutzt werden, die der vierten Klasse sind am schwierigsten erschließbar.

Wie in der Kraftkurve schematisch dargestellt ist, können für die in Betracht kommende Flußstrecke die Gesamtwasserkräfte fortlaufend übersichtlich verbildlicht werden, indem man die Größe des Niederschlagsgebietes nach qkm als Abszissen und die zugehörigen gewinnbaren Wasserkräfte als Ordinaten in P. S. aufträgt. Diese Darstellungen haben für den praktischen Gebrauch hohen Wert. Ja, die Anhänger der Verstaatlichung der Wasserkräfte haben darin eine Gefahr ihrer Bestrebungen

insofern erblickt, als Spekulierende ohne weiteres auf die besten Wasserkräfte aufmerksam gemacht werden [1]). Wo in einseitiger Weise nur die hervorragenden natürlichen Energien aufgeschlossen, die weniger guten aber beiseite gelassen werden, da muß eine solche Raubwirtschaft natürlich die Allgemeinheit schädigen.

Auf Grund der Ergebnisse läßt sich dann eine Wasserkraftstatistik und ein Wasserkraftkataster aufstellen, womit in vielen schweizerischen Kantonen vorgegangen ist.

Das Wasserkraftkataster z. B. des Kantons Zürich enthält folgende Abteilungen:

1. Name des Wasserrechtsinhabers,
2. Rechtstitel, Kozessionsurkunden,
3. Höhenverhältnisse mit Angabe der Höhe aller maßgebenden Punkte, womöglich auf das eidgenössische Präzisionsnivellement bezogen, die Stauverhältnisse, Beschreibung der Fixpunkte und besonderer Anlagen,
4. Gesamtes, sowie nutzbares Gefälle nach dem Nivellement,
5. Wassermenge bei »Mittelwasserstand« aus wiederholten Messungen berechnet,
6. Bruttopferdekraft vom nutzbaren Gefälle,
7. Wasserzins.

Neuerdings wird meist das „mittlere Niedrigwasser" den Berechnungen zugrunde gelegt. Gesamtgefälle ist das Maß der Fallhöhe der ausgenutzten Flußstrecke, welches sich bei M. W. einstellt. Nutzbares Gefälle ist die Gefällhöhe unmittelbar im Werk bei M.W. verstanden.

Der Schweiz ist Österreich gefolgt.

Das österreichische Ministerium des Inneren hat das hydrographische Zentralbureau vom 1. Januar 1907 ab mit der Anlage eines Wasserkraftkatasters betraut. Es handelt sich dabei vorwiegend um die Beantwortung von Fragen technischer Natur, wenn zwar auch auf die rechtlichen Verhältnisse der Wasserläufe eine gewisse Rücksicht genommen werden soll. Der Zweck dieses Unternehmens ist, daß an der Zentralstelle eine bessere Kenntnis über die Nutzbarmachung der Gewässer im allgemeinen und die Verwendung der Wasserkräfte im besonderen gewonnen werden soll.

Das Wasserkraftkataster soll demgemäß über die in den Wasserläufen vorhandenen Wasserkräfte Aufschluß erteilen und es sollen daraus

1) Österr. Wochenschrift f. d. öff. Baudienst, 1906, S. 598.

bei Neuverleihung von Konzessionen die nötigen Anhaltspunkte geliefert werden, um ihre zweckmäßige Ausnutzung zu gewährleisten und namentlich eine Zersplitterung größerer Gefälle zu vermeiden.

In dem Wasserkraftkataster sollen die grundlegenden Elemente der Wasserkraftnutzung: Gefälle und sekundliche Abflußmenge — tabellarisch oder graphisch — somit die Leistung des Werkes festgelegt werden. Für die Gefällermittlung sind Längsnivellements an den Flüssen auszuführen und die sekundlichen Wassermengen sind auf das Mittelwasser, auf das voraussichtlich jährlich wiederkehrende Niedrigwasser und auf das wahrscheinliche absolute Mindestwasser zu beziehen.

Die Vorarbeiten werden von den politischen Behörden ausgeführt, denen hierfür technische Kräfte zur Verfügung gestellt werden. Die Sammlung der Ergebnisse, die in Formularform aufzustellen sind, zu dem Wasserkraftkataster geschieht im hydrographischen Bureau.

Bei Klarstellung hydrologischer Grundlagen für wichtige Entwürfe, insbesondere wenn es sich um Wasserkraftanlagen von 500 PS und mehr handelt, ist das hydrographische Bureau heranzuziehen.

Die Instruktion über die Veranlagung und Führung eines Wasserkraftkatasters lautet:

1. Beobachtungen, Erhebungen und Studien über die Nutzbarmachung der Gewässer im allgemeinen und über die Verwendung der Wasserkräfte im besonderen bilden im Sinne des Organisationsstatuts für den hydrographischen Dienst eine Aufgabe dieses Dienstes.

2. Die Ergebnisse dieser Erhebungen und Studien sind seitens des k. k. hydrographischen Zentralbureaus im Ministerium des Innern zur Anlage eines Wasserkraftkatasters in sachgemäßer Weise zu verwerten und der Öffentlichkeit durch Publizierung zugänglich zu machen.

3. Der Wasserkraftkataster hat über die in den Wasserläufen vorhandenen Wasserkräfte Aufschluß zu erteilen und auf Rechtsverhältnisse nur insoweit Rücksicht zu nehmen, als es zur Kenntnis der ausgenützten und der noch verfügbaren Wasserkräfte notwendig ist.

Auch sollen durch die Führung des Wasserkraftkatasters die nötigen Anhaltspunkte geliefert werden, damit bei Neuverleihung von Konzessionen eine rationelle Verwertung der noch nicht ausgenützten Wasserkräfte Platz greife und namentlich eine Zersplitterung größerer Gefälle vermieden werde.

4. Die Führung des Wasserkraftkatasters hat sich auf die für Wasserkraftleistung fundamentalen Elemente des Gefälles und der sekundlichen Durchflußmenge zu erstrecken. Dem Wesen der bezüglichen Daten entsprechend sind dieselben graphisch und tabellarisch zu verzeichnen.

5. Als grundlegende Gefällsmaße für die Eintragung in den Kataster haben die Ergebnisse der zur Festlegung der generellen Längenprofile der Flüsse durchzuführenden Nivellements zu dienen.

Die sekundlichen Wassermengen sind auf Grund von hydrometrischen Erhebungen auf die folgenden Wasserbestände zu beziehen:

a) auf das Mittelwasser,

b) auf das voraussichtlich jährlich wiederkehrende Niederwasser,

c) auf das wahrscheinlich absolute Minimum des Wasserstandes.

6. Die nach Punkt 5 erforderlichen Daten sind seitens des k. k. hydrographischen Zentralbureaus durch geodätische und hydrometrische Arbeiten zu beschaffen. Diese Arbeiten sollen in systematischer Weise nach Flußgebieten geordnet vorgenommen werden.

7. Die Reihenfolge der Aufnahmen wird von den beteiligten Zentralstellen bestimmt.

Ausserdem kann das hydrographische Zentralbureau im Interesse von privaten Industrieunternehmen spezielle hydrologische Untersuchungen gegen Ersatz der Kosten durchführen.

Überdies sind die politischen Behörden im Zuge des wasserrechtlichen Verfahrens berechtigt, um die Mitwirkung des hydrographischen Zentralbureaus unmittelbar bei diesem in dem Fall einzuschreiten, wenn es sich um Klarstellung hydrologischer Grundlagen von besonders in die Wagschale fallenden Projekten (Punkt 3, Abs. 2) handelt.

8. Als ein wesentlicher Behelf für die Führung, bezw. für die Evidenthaltung des Wasserkraftkatasters hat, außer den im Punkte 4 angegebenen Darstellungen und im Einklange mit denselben, eine Zusammenstellung über die bereits ausgenützten Wasserkräfte in tabellarischer Form zu dienen, die nachstehende Rubriken zu enthalten hat:

a) Benennung des Wasserlaufs,

b) Stationierung des Wasserlaufs (bezw. die Bezeichnung und Fixierung der durch die Anlage eines Wasserwerkes in Anspruch genommenen Strecke, in der Regel vom Wehr bis zur Ausmündung des Unterwasserkanals),

c) politische Landes- und Bezirksbehörde,

d) Orts- und Katastralgemeinde,

e) Bezeichnung des Konzessions- bezw. Kollandierungserkenntnisses und die Konzessionsdauer,

f) Name des Wasserwerksbesitzers,

g) Bezeichnung der Werksanlage,

h) totales Gefälle der bezüglichen Wasserlaufstrecke,

i) konzediertes Nutzgefälle,

k) sekundlich zur Verwendung gelangende Durchflußmenge, und zwar beim konzedierten Höchstwasser und bei Minimalwasser,

l) sekundliche Leistung des Werkes in Bruttopferdekräften (75 m/kg) und zwar beim konzedierten Höchstwasser und beim Minimalwasser.

9. Bezüglich der bereits bestehenden Wasserkraftanlagen werden die nötigen Daten für die im Punkte 8 erwähnte Zusammenstellung gelegentlich der Durchführung der sub Punkt 6 genannten planmäßigen Arbeiten erhoben werden.

Zum Zwecke der fortlaufenden Evidenthaltung des Wasserkraftkatasters sind die zuständigen politischen Behörden sowohl anläßlich der Konzessionserteilung als auch insbesondere anläßlich der wasserrechtlichen Kollandierung verpflichtet, eine Anzeige direkt an das k. k. hydrographische Zentralbureau zu übermitteln.[1])

---

1) Österreich. Wochenschrift f. d. öff. Baud. 1907, Heft 1. Über das Verfahren bei Genehmigung gewerbl. Anlagen in Österr. s. obig. Zeitschr. 1907, S. 25.

In Deutschland hat Bayern und Baden begonnen, derartige Ermittlungen nach einem einheitlichen und systematischen Programm anzustellen. In Bayern wurde im Jahre 1899 ein staatliches hydrographisches Bureau eingerichtet, das planmäßige Messungen in allen Flußgebieten ausführt. Aus den Vertretern der beteiligten bayrischen Ministerien ist neuerdings eine Kommission gebildet, die über den Umfang der vorhandenen und verwertbaren Wasserkräfte Klarheit schaffen soll. Dabei sollen zugleich allgemeine Entwürfe aufgestellt und auch die wirtschaftliche Seite und die Frage der staatlichen Ausnutzung der Wasserkräfte geprüft werden. Die Ergebnisse sind neuerdings in einer sehr umfangreichen Denkschrift veröffentlicht worden [1]). Über die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse Badens siehe Beiträge zur Hydrographie des Großherzogtums Baden. Das Zentralbureau für Meteorologie wurde in Baden bereits im Jahre 1883 eingerichtet. Für Preußen versieht den hydrographischen Dienst die im Jahre 1901 ins Leben gerufene »Landesanstalt fur Gewässerkunde«, die ihre Veröffentlichungen in den »Jahrbüchern für die Gewässerkunde Norddeutschlands« niederlegt.

Über die Pflege der Hydrographie in den Vereinigten Staaten von Nordamerika siehe Österr. Wochensch. f. d. ö. B. 1907 S. 8.

C. Gesichtspunkte für die Wahl eines Talbeckens zur Wasseraufspeicherung für Kraftzwecke.

Im allgemeinen wird der Ingenieur bei der Auswahl eines Talbeckens an enge Grenzen gebunden sein. Man wird in Betracht ziehen müssen, daß man die Frage der Wasseraufstau nicht losgelöst für sich untersuchen darf, sondern in Einklang bringen muß mit sonstigen technischen und wirtschaftlichen Erfordernissen, die ein geplantes Wasserkraftunternehmen stellt. Nicht überall, wo ein geeignetes Talbecken vorhanden ist, sind die Aussichten für den Kraftabsatz gegeben, wenn man zwar in dieser Hinsicht nicht Bedenken tragen darf, bahnbrechend vorzugehen und das Bedürfnis hervorzurufen, wie auch die Erfahrung erwiesen hat, daß Verkehrswege eine Belebung des durchzogenen Gebietes im Gefolge zu haben pflegen.

---

1) Die Wasserkräfte Bayerns. Im Auftrage des k. Staatsministeriums des Innern bearbeitet von der k. obersten Baubehörde. München 1907.

Es entstehen also Bedenken, daß es nur einen akademischen Wert haben kann, Gesichtspunkte für die Wahl eines Aufspeicherungs-Tales aufzustellen. Man wird meist mit den gegebenen Verhältnissen vorlieb nehmen müssen. Immerhin soll dieser Gegenstand mit kurzen Worten gestreift werden, soweit eine solche Erörterung für die allgemein wirtschaftliche Beurteilung im gegebenen Falle Bedeutung haben kann.

An Täler, die zur Aufsammlung großer Wassermassen dienen sollen, wird man folgende Hauptforderungen stellen müssen: Die Kosten für das Absperrbauwerk müssen in günstigem Verhältnis stehen mit der Größe des gewonnenen Stauraumes; der Untergrund des Talbeckens muß dicht sein, um Wasserverluste zu vermeiden und für den Bau des Absperrwerkes muß eine geschlossene und feste Gründungssohle vorhanden sein. Wenn sich in unseren Mittelgebirgen zwar viele Talmulden finden, die diesen Bedingungen genügen würden, so ist doch die starke Bebauung in wirtschaftlicher Hinsicht oft ein Hindernis für die Wasserstauungen. Der Ankauf von wertvollen Ländereien, Gehöften oder gar Dörfern, wie das letztere u. a. für den Bau der Edertalsperre notwendig geworden ist, beeinträchtigt naturgemäß den Ertrag solcher Unternehmungen oder kann ihre Ausführung vielleicht überhaupt unmöglich machen. Rentabilitätsberechnungen werden da im Einzelfalle die Unterlage für die Entscheidung abgeben müssen. Die Kosten des Grunderwerbs betragen daher in der Regel einen ansehnlichen Teil der Gesamtbaukosten.

Die Anforderungen, die in geologischer Hinsicht und im Sicherheitsinteresse zu stellen sind, sind im folgenden Abschnitt besprochen.

Staubecken, die für die Kraftgewinnung bestimmt sind, wird man nach Möglichkeit in nicht zu großer Entfernung vom Gebrauchsort suchen müssen. Je nachdem die Gestaltung der Gelände- oder sonstigen Verhältnisse die Lage des Kraftwerkes bedingen, wird man dann an Länge der Zuleitung von der Talsperre zum Kraftwerk oder an den Kosten für die Fernübertragung der elektrischen Energie sparen. Nicht ohne Interesse für derartige Überlegungen sind die Voruntersuchungen, die in Verbindung mit der Kraftausnutzung an dem Sammelbecken der Stadt Nordhausen a. Harz angestellt wurden (s. Abschn. IV). Wo es sich um die freie Abgabe des Wassers der Talsperre für die Aufhöhung des Niedrigwassers der Triebwerke handelt, darf man die Verdunstungs- und Versickerungsverluste auf dem Wege bis zur Kraftverwertung nicht außer

acht lassen. Andererseits wird es vorteilhaft erscheinen, mit solchen Talsperren möglichst hoch hinauf in das Quellgebiet zu gehen, um an Gefälle des abströmenden Wasser in dem Triebbache bis zu seiner Einmündung in den Hauptfluß zu gewinnen.

In einem abzusperrenden kleinen Seitentale empfiehlt es sich, unter sonst gleichen Umständen die Sperrmauer möglichst an die Ausmündung in das Haupttal heranzulegen, um das abzufangende Niederschlagsgebiet voll auszunutzen. Ein Beispiel hierfür bietet das Mescheder Staubecken. Die Talsperre liegt etwa 1500 m oberhalb der Mündung der Henne in die Ruhr, die hier einen rund 20 km langen Lauf hat. Die Absperrung ist so weit als möglich nach unten, hart bis an das Städtchen Meschede gelegt und die letzten zusammentretenden Berghänge sind benutzt worden. Das Tal, soweit es überstaut wird, hatte einige Bebauung, die naturgemäß aufgegeben werden mußte. Am linken, flach geneigten Hange lief unter Wasserspiegelhöhe eine Chaussee, deren Hebung und Verlegung auf mehrere Kilometer notwendig geworden ist. Umänderungen an vorhandenen Wegen oder Eisenbahnen sind bei den meisten ausgeführten Talsperrenanlagen erfolgt und bilden oft eine starke Belastung der Bausumme.

Dieser Gesichtspunkt, die Talsperren möglichst weit nach unten zu legen, wird in erster Linie dort gelten, wo es sich um freien Ablauf des Talsperrenwassers als Zuschuß zum Betriebswasser eines Baches handelt. Wenn aber, wie in Solingen, der Druck des aufgestauten Wassers in geschlossenen Rohrleitungen zum Kraftwerk hingeführt und in seinen Turbinen und Pumpen zur Ausnutzung kommt, so muß die Frage auftauchen, ob nicht die Verschiebung der Lage der Talsperre weiter hinauf in das Tal Vorteile bringt, wenn dadurch an Kraftgefälle gewonnen werden kann und sich dort gleich günstige Verhältnisse hinsichtlich des Untergrundes und des Geländes bieten. Diese Prüfung ergab, daß unmittelbar an der Ausmündung des Sengbachtales in das Wuppertal eine Sperrmauer für 3 Mill. cbm Stauinhalt errichtet werden konnte. Aber es fand sich auch etwa 1 km oberhalb eine ebenso geeignete Talenge vor (s. Abb. in Abschn. V H.). Und diese Stelle lag 20 m höher als die Talausmündung, während das Niederschlagsgebiet bis dorthin sich nur wenig verringerte, da der Bach auf dieser Strecke von hohen, beiderseits stark abfallenden und schmalen Bergrücken begleitet wird, die die Abgrenzung des Sengbachtales gegen zwei Nebentäler bilden. Überdies geht auch der Ab-

fluß von diesem Teil des Niederschlaggebietes für die Trinkwasserversorgung nicht ganz verloren, da er von den unterhalb der Talsperre liegenden Rieselwiesen, welche sich bis nahe an den Auslauf des Sengbachtales hinziehen, zum Teil für ihre Grundwasserspeisung aufgefangen wird. Das Niederschlagsgebiet beträgt an der Mündung des Sengbaches 12,3 qkm, und 1 km oberhalb, wie oben erwähnt, 11,8 qkm. Die Möglichkeit durch eine solche Verschiebung des Absperrwerkes talaufwärts den bedeutenden Gewinn an Kraftgefälle von 20 m zu erzielen bei unwesentlichem Verlust an Wasserabflußmengen gab den Ausschlag für die Wahl der oberen Talenge[1]).

Diese Überlegung weist weiter darauf hin, daß es bei Sammelbeckenanlagen für Kraftzwecke günstig ist, die Talsperre an einen Knickpunkt des natürlichen Talgefälles zu verlegen, um in einer anschließenden Rohrleitung Druckgefälle zu erschließen. Ein schwaches oberes Gefälle läßt mit geringer Stauhöhe einen großen Stauraum erhoffen, während das anschließende starke Gefälle eine gute Kraftnutzung sichert. Auch dort, wo das Becken der Aufhöhung des Niedrigwassers, der Trinkwassergewinnung oder irgend anderen Zwecken dienen soll, wird es vorteilhaft erscheinen, auf die Kraftverwertung in dieser Weise zu rücksichtigen, ohne die anderen Interessen zu schädigen. Die neueren Talsperrenunternehmungen lassen durchweg dieses Bestreben erkennen, und man sieht kaum noch ein großes Becken errichten, ohne daß nicht ein zentrales Kraftwerk damit verbunden wäre. Die Kraftverwertung ist eben mehr denn jede andere Art der Nutznießung berufen, die Rentabilität derartiger Werke zu sichern oder wenigstens zu fördern.

Für die Lage der Urftalsperre war maßgebend, die Absperrung soweit unterhalb Gemünd i. E. zu verlegen, daß die letzten Ausläufer der Bebauung dieses Städtchens durch den Rückstau nicht berührt wurden. Andererseits mußte ein möglichst geräumiges Becken in Anbetracht der großen, zur Verfügung stehenden Wassermenge, geschaffen werden. Es ist jährlich eine 3 ½ malige Füllung zu verwerten. Durch diese Bedingungen war die Lage der Sperrmauer gegeben, wobei noch zur Erwägung kam, daß das gestaute Wasser durch einen Stollen auf kürzestem Wege nach einem niedriger gelegenen Flußtal abgeleitet und damit ein Gefälle von 70 bis 110 m gewonnen werden sollte. Für die Baustelle wurde eine möglichst enge Stelle im Tale gewählt. Darin

1) Zeitschr. f. Bauw. 1904.

liegt ein allgemein maßgebender Gesichtspunkt. Eine Einschnürungsstelle mit hohen, steilen Berghängen ergibt naturgemäß ein billigeres Bauwerk als ein breites Tal mit flachen Hängen, weil geringere Mauermassen einzubauen sind,um die Talöffnung zu verschließen.

Von weiterem wesentlichen Einfluß auf die Kosten ist die Geländeformation. Vorteilhaft ist ein in der Sohle flach ansteigendes Tal mit kesselartiger Erweiterung oberhalb der Absperrstelle und mit einer Umgrenzung von hohen, steilen Hängen. Das Verhältnis des Stau-

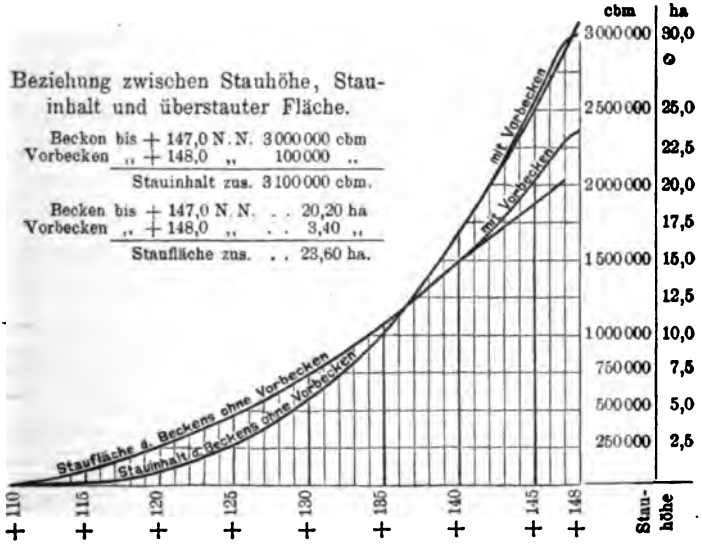


Abb. 2. Kurven der Staufläche und des Stauinhaltes für die Solinger Talsperre im Sengbachtale.

inhaltes zur überstauten Fläche wird dabei ein günstiges sein und die Grunderwerbskosten halten sich auf geringster Höhe. Das Umgekehrte ist naturgemäß bei einem großen flachen Becken, das zudem vermehrte Verluste durch Verdunstung auf breiter Wasserfläche nach sich zieht. Die Vereinigungsstelle mehrerer Täler darf aus dem erwähnten Grund immer auf besondere Beachtung als Abschlußstelle für ein Sammelbecken rechnen.

Es sollte bei der Projektierung nicht übersehen werden, daß — an derselben Talstelle — große Becken sich immer vorteilhafter stellen als kleine. Der Fassungsraum eines Beckens vergrößert sich in ungleich

stärkerem Verhältnis als die Höhe der Sperrmauer wächst, da die Becken einer auf die Spitze gestellten Pyramide vergleichbar sind. Die Abb. 2, die in dieser Hinsicht zu verallgemeinernde Bedeutung hat, läßt erkennen, wie die Zunahme des Stauinhalts bei wachsender Stauhöhe durch eine Kurve mit steil ansteigendem Ast dargestellt wird. In den oberen Teilen wird mit jedem Meter Stauhöhe ein wesentlich größerer Stauraum als im unteren Teile gewonnen; also sind die anteiligen Kosten des Mauerwerks bezogen auf 1 cbm Nutzraum des Beckens geringer. Dazu kommt, daß den ausschlaggebenden Teil der Grunderwerbskosten die wertvolle Wiesenfläche der Talsohlen bildet. Diese Wiesenfläche ist aber bei einem Becken mit geringer Staufläche größer als bei Weihern, die die Hänge in Anspruch nehmen. Zur Beurteilung mögen die Ergebnisse einer Untersuchung dienen, die vom Verfasser angestellt wurde unter den gegebenen Geländeverhältnissen der Solinger Talsperrenanlage, und die in Tab. 1 mitgeteilt sind.

Tabelle 1. Beziehungen zwischen den Stauhöhen einer Talsperre und den Kosten.

Höhe der Talsperre m	Stauinhalt Mill. cbm	Staufläche ha	Materialaufwand	Verhältnis der Stauinhalte	Verhältnis der Grunderwerbskosten	Kosten für 1 cbm Stauraum ℳ	Bemerkungen
43	3	22,9	65000 cbm Mauerwerk	30	5	0,44	Ausgeführte Mauer.
30	1	11,0	27000 » »	10	3	0,58	—
8,5	0,1	3,3	23000 » Beton 16400 » Erde	1	1	0,98	Erddamm mit Betonkern. Ausgeführt.

Man ersieht daraus, wie mit größerer Stauhöhe die Einheitskosten für 1 cbm Stauraum abnehmen. Bei den Entwurfsarbeiten sollte man sich diese Erscheinung stets vor Augen halten. Es ist im Verhältnis zu dem Gesamtaufwande meist mit geringen Mitteln möglich einen vermehrten Aufspeicherungsraum zu gewinnen. Je mehr aber die neuzeitliche Wasserwirtschaft dem Ausgleich der natürlichen Wasserführung ihr Augenmerk zugewendet hat, um so mehr hat die Erfahrung erwiesen, daß man die Räume für diesen Ausgleich recht ausgiebig bemessen soll mit Rücksicht auf die unverhältnismäßig gesteigerten Kosten und technischen Schwierigkeiten, die entstehen, wenn eine Sperrmauer nachträglich aufgehöht und ihrem Stauinhalte nach wesentlich vergrößert werden soll.

D. Geologische und Bodenuntersuchungen.

Zu den hydrographischen Arbeiten im weiteren Sinne gehören die geologischen und Bodenuntersuchungen. Für die Fragen des Wasserhaushaltes sind sie von Bedeutung insofern, als sie Aufschluß geben über die Untergrundverhältnisse; ihre Durchlässigkeit, die Quellenbildung, Verdunstung und Versickerung, für die Bauanlagen sind sie hinsichtlich der Gründungsarbeiten unerläßlich. Das trifft ganz besonders für die Talsperrenanlagen zu.

Die geologischen Verhältnisse eines Gebirges können für die Frage, ob eine Ausgleichung der Wasserabflüsse zu erzielen ist, von ausschlaggebender Bedeutung sein. Während z. B. die Becken der Ruhr und der Wupper in dem undurchlässigen Schiefergebirge liegen und sich darum für die Anlage von Staubecken selten vorzüglich eignen, ist das nicht weit davon entfernte Quellengebiet der Lippe für diesen Zweck weniger tauglich, da es in einem durchlässigen Kalkgebirge liegt. Eine ähnliche Gegenüberstellung bieten die Flußsysteme der Weser. Während sich die Täler der linksseitigen Zuflüsse — Fulda, Diemel — für die Wasseraufspeicherung gut eignen — es wird an der Eder ein Staubecken von 170 bis 220 Mill. cbm errichtet — liegt die Werra zum Teil in durchlässigem Gestein. Aber auch innerhalb eines Talbeckens wechseln oft die durchlässigen und undurchlässigen Schichten — wie z. B. im Langen Tale für das Sammelbecken der Stadt Nordhausen a. H. und an der Absperrstelle für das Becken bei Mauer in Schlesien —, und feste und dichte Formationen für die Aufnahme der Staumauer stehen oft nur in geringer Ausdehnung zur Verfügung.

Wie vorsichtig man in der Beurteilung der Untergrundverhältnisse bei Talsperrenanlagen sein muß, haben in neuerer Zeit die Erfahrungen an der Talsperre von Meschede erwiesen, die infolge unterirdischer Klüfte starke Sickerungen zeigt und Dichtungsarbeiten mit erheblichem Geldaufwande notwendig macht. Auch die Hänge der Gothaer Talsperre haben sich nicht als dicht erwiesen. Im Becken der Urfttalsperre vermutete Geh. Rat Intze klüftiges Kalkgebirge, durch das ein Entweichen eines größeren Teiles der Niederschlagsmengen nach benachbarten, tiefer gelegenen Tälern eintrat. Aber auch bei den sonstigen hydraulischen Anlagen der Wasserkraftwerke darf man über diesen Gegenstand nicht ohne weiteres hinweggehen.

Für den Bau eines Stollens wird vor allem die Frage zu prüfen sein, ob die geologische Beschaffenheit des zu durchschneidenden Gebirges Schwierigkeit für den Stollenausbau und die Wasserhaltung bereiten kann, und inwieweit eine Ausmauerung des Stollens vorzusehen sein wird. Für die sichere Lage von Rohrleitungen werden Geländebewegungen und Rutschungen gefahrbringend sein und beim Bau des Krafthauses wird neben der Notwendigkeit der sicheren Gründung gegenüber der schweren Belastung an sich zu erörtern sein, ob besondere Maßnahmen zu treffen sind mit Rücksicht auf die Bewegungen der Maschinen und gegebenenfalls den Schub der Rohrleitung, wenn diese vom Krafthause aus steil ansteigt.

Bei der Linienführung der Betriebskanäle ist die Dichtigkeit des Bettes, um Wasserverluste zu vermeiden, und die Gefahr der Verschüttung durch Bergrutsche zu beachten. Ähnliche Gesichtspunkte gelten für die Wehr- und Schleusenbauten.

Je größer das Unternehmen ist, um so schwieriger wird sich im allgemeinen die Beurteilung aller dieser Verhältnisse gestalten und oft haben bei den neueren Wasserkraftanlagen Ingenieure und Geologen sich in diese Vorarbeiten geteilt. Eine besonders gründliche Prüfung nach dieser Richtung hat das geplante Etzelwerk in der Schweiz erfahren, bei dem die Frage der Dichtigkeit des Stausees — es ist ein Becken von 96,4 Mill. cbm in Aussicht genommen — eine wesentliche Rolle spielt[1]).

Die Bodenuntersuchungen müssen schon frühzeitig mit den allgemeinen Vorarbeiten begonnen werden, um über die Möglichkeit zu entscheiden, mit Sicherheit ein Talbecken für Wasseraufspeicherungszwecke zu benutzen und eine Sperrmauer an einer nach den sonstigen Verhältnissen geeigneten Talenge errichten zu können. Der Geologe wird hierbei insofern mitzuwirken haben, als er die Gebirgsformationen, die Schichtenbildung unter dem Gesichtspunkt der Abrutschungen durch den Wasserdruck, den unterirdischen Befund des Gebirges auf Gänge und Klüfte, auf die Gefahren der Unterspülung und Wasserverluste, die Beschaffenheit des Gesteins im allgemeinen besonders hinsichtlich seiner petrographischen Eigenschaften für den Zweck der Stauung und seiner Verwendbarkeit für den Bau vom geologischen Standpunkt untersucht.

1) Bericht des Regierungsrates an den Kantonsrat betreff. die Prüfung des Etzelwerkprojektes vom 16. Juni 1906.

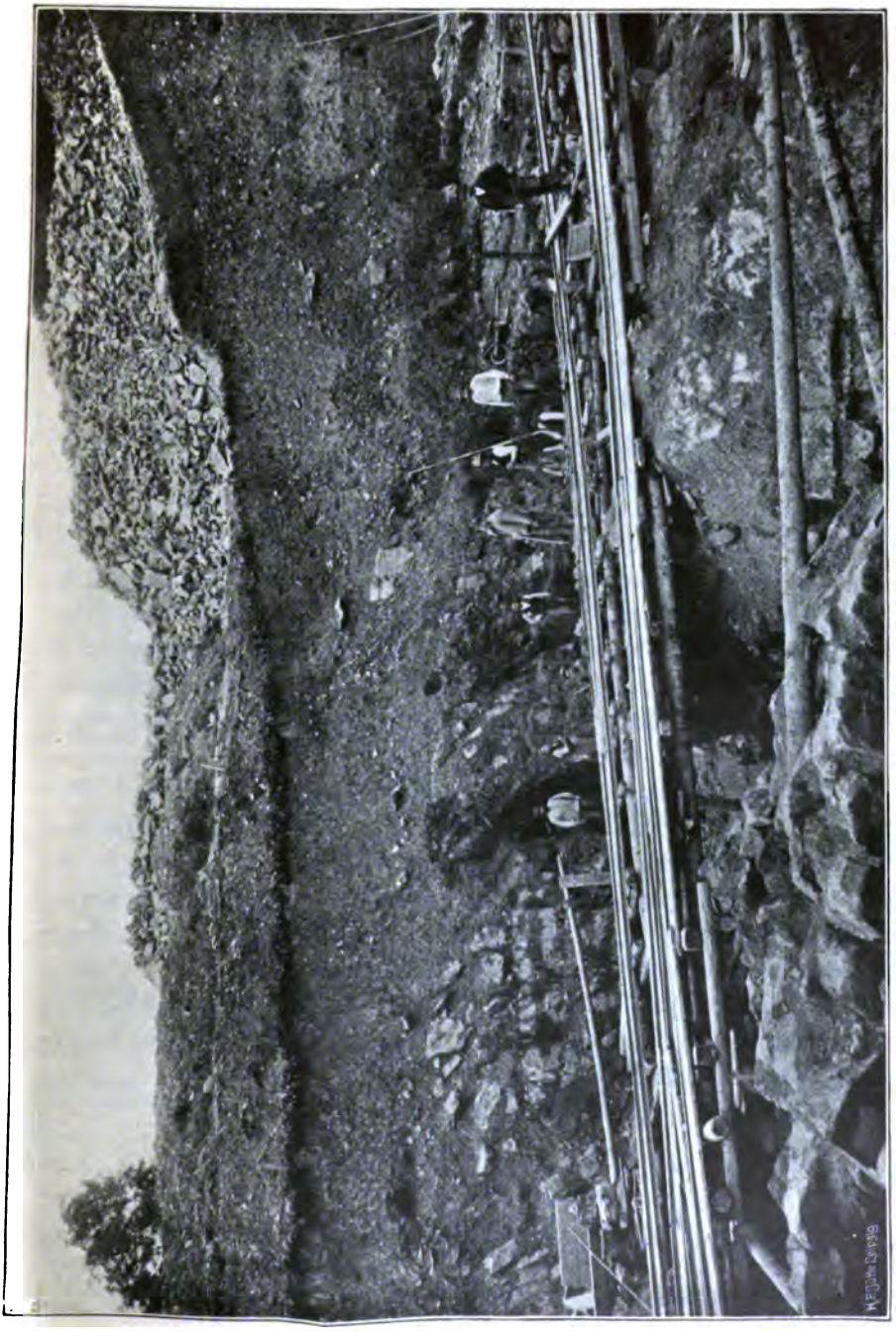


Abb. 3. Gründungsarbeiten beim Bau der Hennetalsperre bei Meschede (Ruhrgebiet).

Auf dieser Grundlage wird sich der Ingenieur ein Urteil bilden können über die Dichtigkeit des zu überstauenden Gebietes und an der Hand von Schürfungen den Untergrund an der Baustelle auf seine Tragfähigkeit, Dichtigkeit und Lagerungsverhältnisse als Gründungssohle für eine Talsperre prüfen. In Anbetracht der verheerenden Wirkungen, die der Bruch von Sperrmauern und das Ausströmen der gewaltigen Wassermassen für die unterhalb belegenen Täler hat, muß diese Prüfung eine sehr eingehende und sorgfältige sein, um eine unbedingt sichere und dichte Gründung zu schaffen, und wenn je so ist hier ein selbständiger, der Verantwortung sich vollbewußter Ingenieur am Platze.

Diese Vorarbeiten bedingen die Vornahme von Aufgrabungen in der Sohle und an den Hängen des Talbeckens und in der zukünftigen Baugrube. Sie bilden ein vorläufiges Ergebnis. Die endgültige Entschließung wird erst nach Bloßlegung der Baugrube für die Talsperre erfolgen können, wo dann die eigentliche Gründungssohle festgelegt wird (Abb. 3).

Die Schürfungen durch Aushebung einzelner Probelöcher — etwa 8 bis 10 — in der Baugrube werden bis auf die feste Felssohle und in diese um einiges hinaus fortzutreiben sein, um die Beschaffenheit des Gesteins zu erkunden. Besseren Aufschluß als einzelne Probelöcher geben Längs- und Querschlitze in der Talsohle und an den Hängen. Das Ergebnis wird durch zeichnerische Darstellung zu veranschaulichen sein (Abb. 4 u. 5).

In diesem Zeitpunkt empfiehlt es sich auch, Untersuchungen vorzunehmen über die Anlage von Steinbrüchen, aus denen die Bausteine für die Mauerung der Talsperre entnommen werden sollen. Auch hier werden Schürfungen Aufschluß geben und die Prüfung der gefundenen Steine auf ihre Dichtigkeit, Festigkeit, Wasserbeständigkeit und Wasseraufnahmevermögen wird sich diesen anschließen müssen[1]).

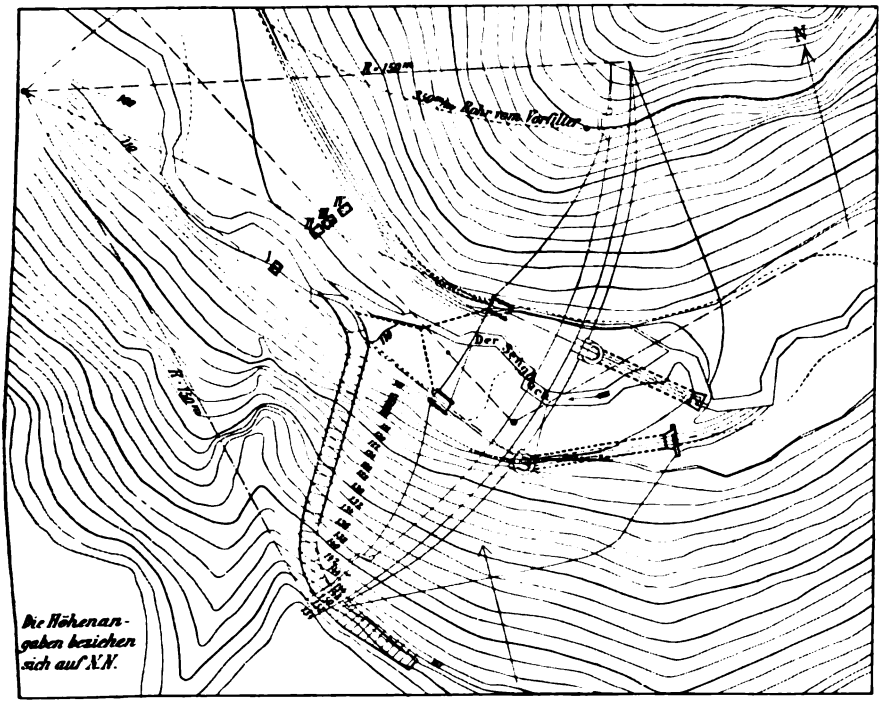
Diese Unterlagen bilden die Vorbedingung für die Aufstellung des Entwurfes und die Kostenermittlung besonders hinsichtlich der Gründungsarbeiten, die daran einen bedeutenden Anteil haben.

E. Geodätische Arbeiten.

Die Feldmeßarbeiten sollen hier nur im allgemeinen kurz erörtert werden, um den Gang derartiger Arbeiten für die vorliegenden Zwecke

1) Näheres s. Zentralbl. d. Bauverw. 1904, S. 21.

darzustellen und die Unterlagen zu charakterisieren, die für die Voruntersuchungen und Projektierung von Wasserkraft- und Talsperrenanlagen erforderlich sind.



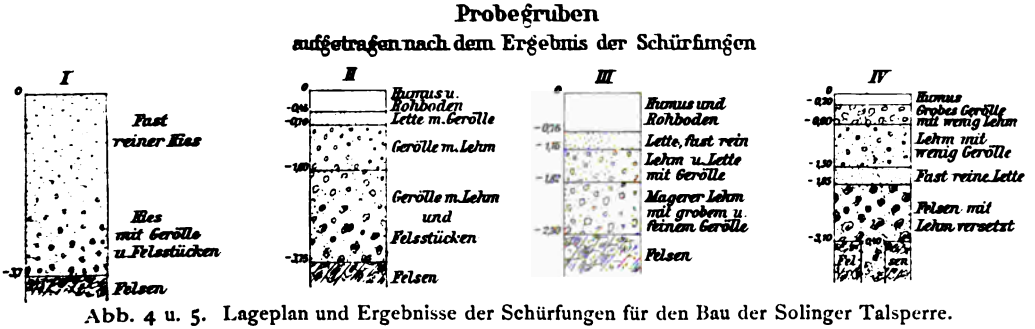


Abb. 4 u. 5. Lageplan und Ergebnisse der Schürfungen für den Bau der Solinger Talsperre.

Die vorläufigen Ermittlungen werden an der Hand allgemeiner Karten der Landesaufnahme erfolgen können. Für preußische Gebiete geben für diesen Zweck eine gute Unterlage die Meßtischblätter, die im

Maßstabe 1 : 25000 hergestellt sind. Pür größere Anlagen dienen zur Übersicht die Generalstabskarten (1 : 100000).

Die örtlich gewonnene Anschauung wird die Aufmerksamkeit auf ein zur Absperrung geeignetes Tal hingelenkt haben, und im Zusammenhange hiermit wird es möglich sein, aus den Meßtischblättern, die Horizontalkurven von 20 m bis herab zu 1,25 m Höhenabstand aufweisen, den ungefähren Stauinhalt eines Beckens oder die Höhen- und Gefällverhältnisse eines Flußlaufes, des Geländes einer geplanten Rohrlinie, die Größe des Niederschlagsgebietes u. a. m. mit einer Genauigkeit zu erkennen, die hinreicht, um überschlägliche Kostenermittlungen und eine Vergleichung verschiedener Projekte anzuschließen.

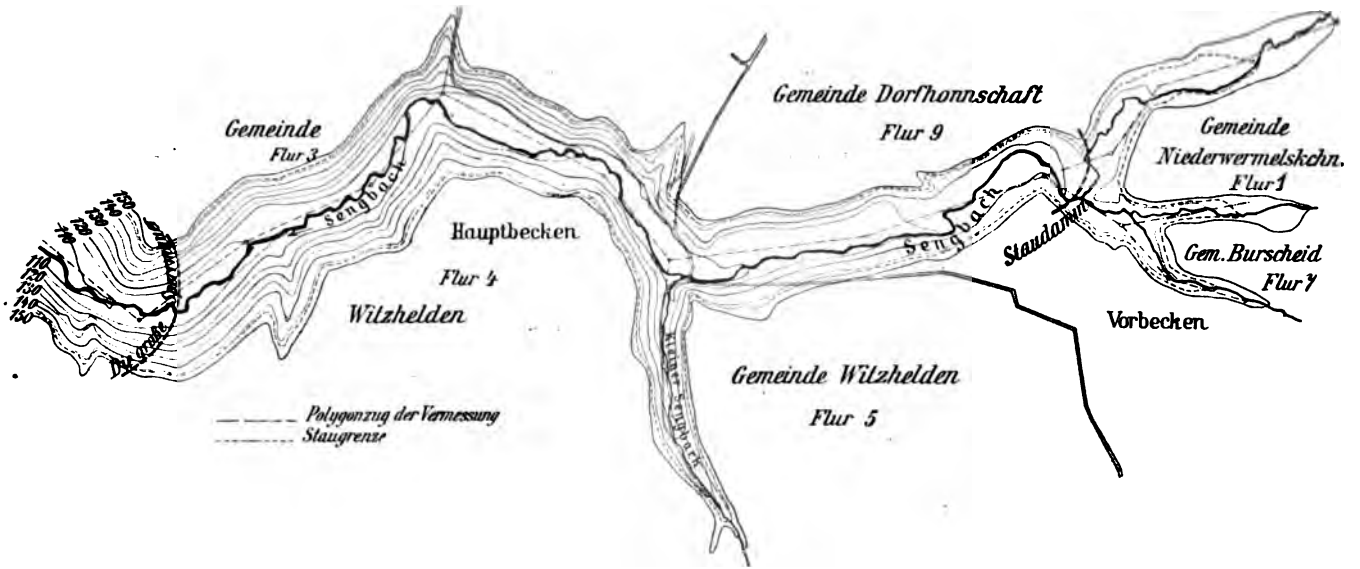
Wenn man auf Grund dieser Voruntersuchungen zu einem Beschluß für die Ausführung eines Unternehmens gelangt ist, wird eine genaue Vermessung des Geländes in senkrechter und wagerechter Richtung nicht zu umgehen sein. Für Talsperrenbauten ist es notwendig, das in Aussicht genommene Staubecken der Höhe nach in Horizontalkurven von 1 bis 5 m Höhenabstand aufzumessen und danach Höhenschichtenpläne mit diesem Höhenabstand der Schichten herzustellen und gegebenenfalls Ergänzungen aus Katasterkarten und sonstigem vorhandenen Kartenmaterial vorzunehmen. Diese Lagepläne werden zweckmäßig für einen Maßstab von 1 : 1000 bis 2000, bei größeren Anlagen bis 1 : 5000 eingerichtet.

Bei steilabfallenden Hängen wird die Tachymeteraufnahme, die zugleich die Höhen und Flächenmaße liefert, im allgemeinen vorteilhafter erscheinen als die Auslegung von Querschnitten. In stark hügeligem Gelände leistet die Winkelmessung gute Dienste und, wo irgend möglich, sollte man von einer genau eingemessenen Grundlinie ausgehend, allgemein bei solchen Aufmessungen das Verfahren der Winkelmessung mit anschließender Berechnung der Längen benutzen. Theodolithe und anderes genaues Meßwerkzeug sind bei Aufmessungen im Gebirge unentbehrlich.[1])

In diese ursprünglichen Pläne wird der Entwurf eingetragen und diese Pläne dienen dann der späteren Absteckung bei der Ausführung als Unterlage, indem man von dem im Plane und im Bilde vorhandenen Polygonzuge, den Höhenpunkten usw. ausgeht.

Zwischen der Aufnahme des Geländes und der späteren Bauaus-

1) S. Zentralbl. der Bauverw. 1906, S. 541.



Ungefährer Maßstab 1 : 10 000.

Abb. 6. Höhenschichtenplan des Sengbachtales bei Solingen.

Die Höhenangaben beziehen sich auf N.N. und sind durch ein Präzisions-Nivellement an die Höhenbolzen der Landesaufnahme angeschlossen.

führung pflegen meist mehrere Jahre zu liegen. Es empfiehlt sich daher, eine sorgfältige und sichere Markierung der erstmaligen Festpunkte im Gelände durch Versteinung mit ausreichender Gründung und Verankerung im Erdboden. Der Unterschied in den Ergebnissen der Aufrechnungen nach Meßtischblättern und nach genauer Aufnahme wird sich in den Grenzen von 5 v. H. halten dürfen.

Hinsichtlich der Ausführung der geodätischen Arbeiten im einzelnen — Aufmessungen, Herstellung der Pläne — sei u. a. insbesondere auf die ausführlichen Darstellungen im Handb. d. Ing. Wiss. III. Teil I. Bd., 2. Aufl., S. 358 hingewiesen. Über die hydraulischen Vorarbeiten gibt der nächste Abschnitt weiteren Aufschluß.

In Abb. 6 ist der für die Anlage eines Staubeckens aufgenommene Höhenschichtenplan des Sengbachtales bei Solingen zur Darstellung gebracht. Die Höhenkurven haben einen Höhenabstand von 5 m. Für die Vermessung wurde durch das Tal und seine Ausläufer ein Polygonzug gelegt, dessen Eckpunkte zugleich Höhenpunkte waren. Der Anschluß erfolgte an die Festpunkte der Landesaufnahme. In Anschluß an den Polygonzug geschah zum Teil durch Querprofilaufnahmen, zum überwiegenden Teil aber durch

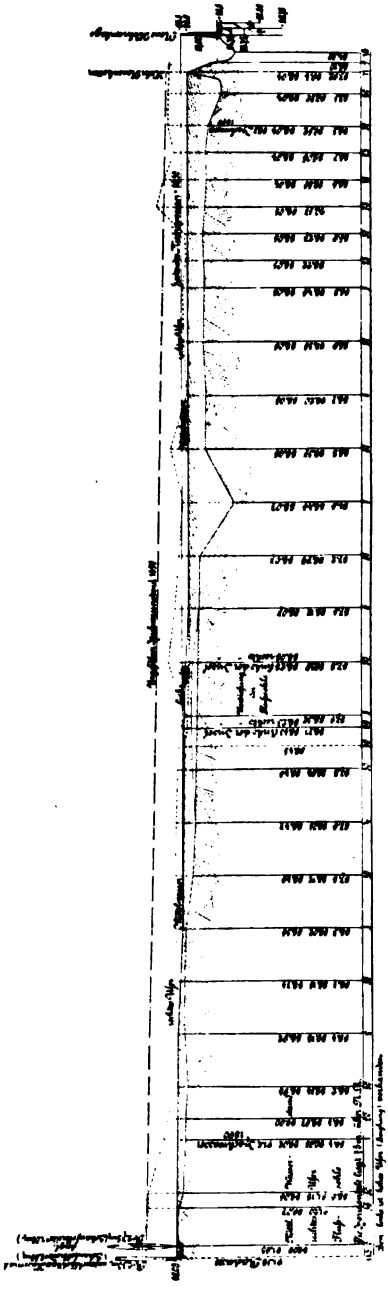


Abb. 7. Höhenplan der Wupper im Oberwasser des Elektrizitätswerkes der Stadt Solingen (s. Abb. 8).

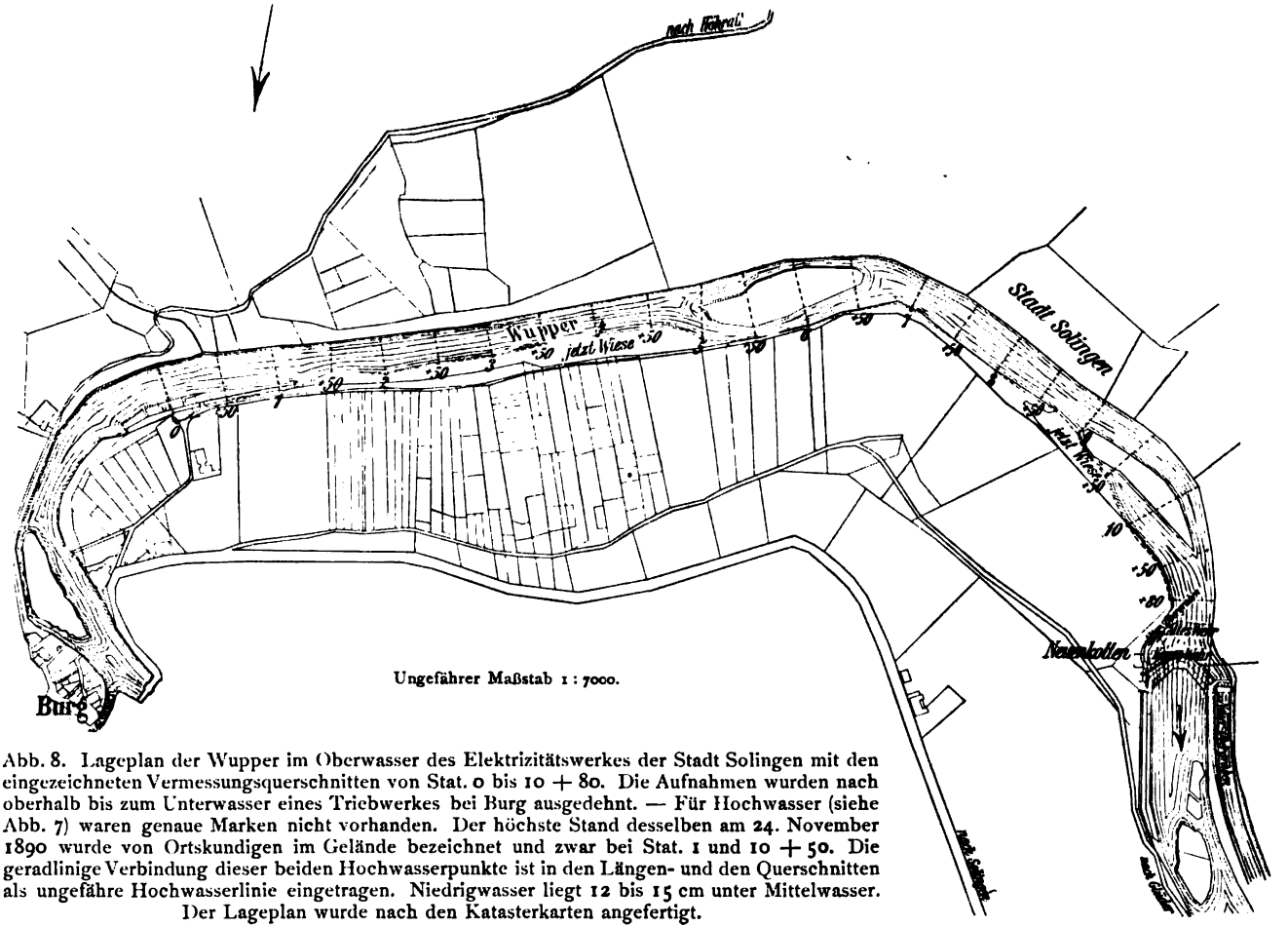


Abb. 8. Lageplan der Wupper im Oberwasser des Elektrizitätswerkes der Stadt Solingen mit den eingezeichneten Vermessungsquerschnitten von Stat. 0 bis 10 + 80. Die Aufnahmen wurden nach oberhalb bis zum Unterwasser eines Triebwerkes bei Burg ausgedehnt. — Für Hochwasser (siehe Abb. 7) waren genaue Marken nicht vorhanden. Der höchste Stand desselben am 24. November 1890 wurde von Ortskundigen im Gelände bezeichnet und zwar bei Stat. 1 und 10 + 50. Die geradlinige Verbindung dieser beiden Hochwasserpunkte ist in den Längen- und den Querschnitten als ungefähre Hochwasserlinie eingetragen. Niedrigwasser liegt 12 bis 15 cm unter Mittelwasser. Der Lageplan wurde nach den Katasterkarten angefertigt.

das tachymetrische Verfahren die Festlegung des Talgrundes und der Berghänge bis einige Meter über die in Aussicht genommene Stauhöhe des Sammelbeckens. Die Höhenverhältnisse werden durch einen Höhenplan zur Anschauung gebracht, wie solche in den späteren Abbildungen mehrfach wiedergegeben sind.

Für die Kostenveranschlagung des Grunderwerbs kann es sich empfehlen, in diesem Lageplan gegebenenfalls auch die Geländeart — Wiese — Wald — Ackerland — zur Darstellung zu bringen und auch die Lage des in Aussicht genommenen Steinbruches. Auch wird es gut sein, schon in diesem Zeitpunkt die Möglichkeit der Materialienanfuhr zur zukünftigen Baustelle zu prüfen.

Aus den hergestellten Horizontalkurvenplänen lassen sich nach dem Verfahren von Intze Beziehungen ableiten zwischen den oberhalb einer Talenge durch Horizontalkurven begrenzten Flächen und den Höhen derselben über Talsohle an der Talenge. Stellt man die Höhen über Talsohle als Abszissen und die Flächen innerhalb der Horizontalkurven als Ordinaten dar, so erhält man Kurven, wie sie in Abb. 2 verzeichnet sind. Durch Ermittlung der Flächen zwischen der Abszissenachse und der eben genannten Kurve der Stauflächen für verschiedene Stauhöhen erhält man die zugehörigen Stauinhalte und daher Beziehungen zwischen den betreffenden Stauhöhen und dem Stauinhalte oberhalb der Talenge. Die Darstellung dieser Beziehungen ergibt neue, parabolisch verlaufende Kurven, welche im allgemeinen einen sehr regelmäßigen Verlauf zeigen. Durch den Vergleich dieser Kurven für verschiedene Talengen und der Profile der Talengen miteinander erhält man einen vorläufigen Anhalt über den Wert der verschiedenen möglichen Absperrungen.[1])

Die Nutzbarmachung eines Gefälles an einem Flußlaufe bedarf neben der Geländeaufnahmen nach Grundfläche und Höhe eine besonders klare Feststellung der Wasserabflußverhältnisse. An der geplanten Abzweigung des Betriebskanals, wo im allgemeinen der Einbau eines Stauwehres erfolgen wird, sowie an der Ausmündung des Betriebskanals in den ehemaligen Flußlauf sind die Höhenlage der Sohle des Flusses und der Wasserstände — Niedrigwasser — Mittelwasser — Hochwasser — zu ermitteln, sowie Querprofile des Flußlaufes aufzunehmen. Daraus wird sich das nutzbare Gefälle bei verschiedenen

1) Talsperrenanlagen in Rheinland und Westfalen. Weltausstell. St. Louis 1904.

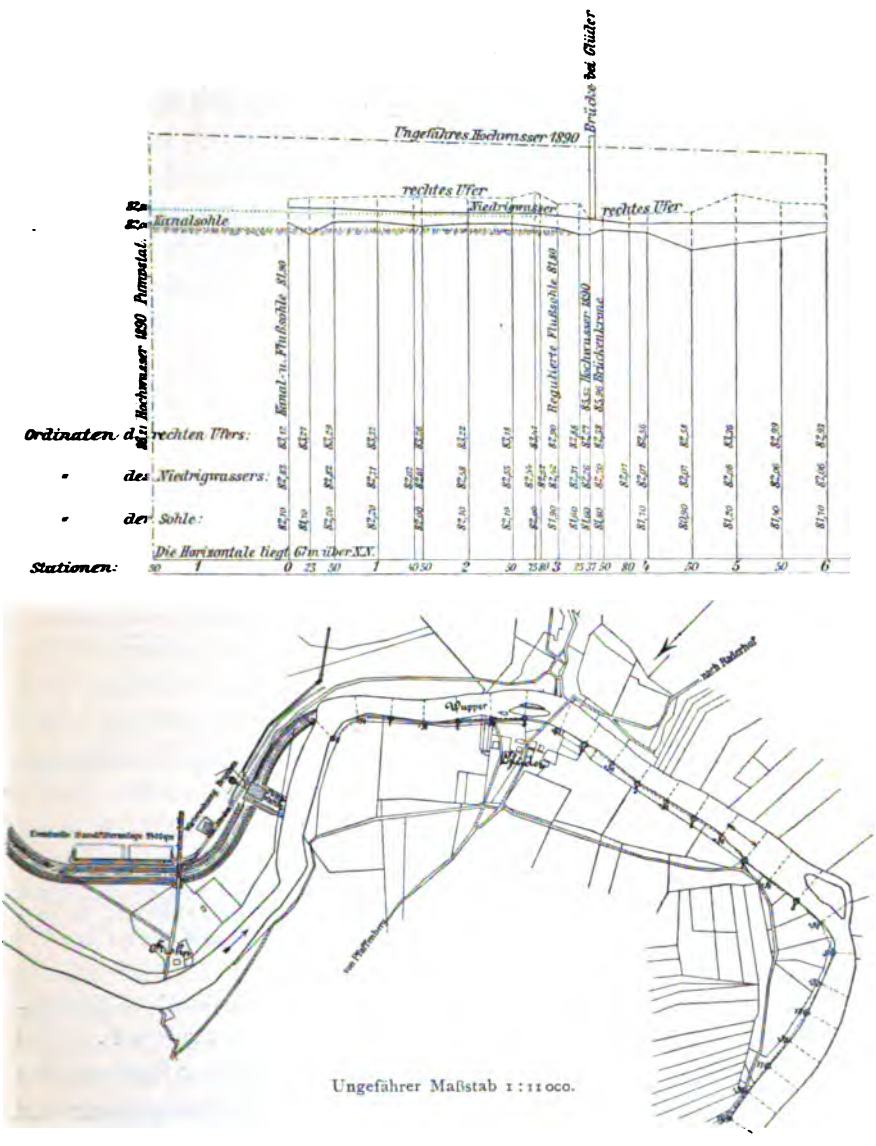


Abb. 9 u. 10. Höhen- und Lageplan der Wupper im Unterwasser des Elektrizitätswerkes der Stadt Solingen. Die Lage der aufgemessenen Flußquerschnitte ist aus dem Lageplan ersichtlich. Der Höhenplan gibt Aufschluß über die Wasserstände und Uferhöhen. Das Hochwasser konnte einnivelliert werden 1. an der Brücke bei Glüder, 2. an einer Stelle etwa 500 m oberhalb der Brücke. Die geradlinige Verbindung dieser beiden Hochwasserpunkte ist in den Längen- und Querschnitten als ungefähre Hochwasserlinie eingetragen. Das Mittelwasser liegt rd. 25 cm über Niedrigwasser.

Wasserständen ergeben und aus den vorhandenen und den durch die Wehranlage und die Kraftwerke gegebenenfalls veränderten Wasserständen, insbesondere bei N. W. und H. W., werden sich die Einflüsse beurteilen lassen, die durch die neue Wassernutzung auf die bestehenden landwirtschaftlichen, gewerblichen oder sonstigen wirtschaftlichen Verhältnisse der angrenzenden Flußstrecken hervorgerufen werden. Die Klarstellung dieser Verhältnisse wird die erzielbaren Stauhöhen erkennen lassen und liegt auch aus dem Grunde im Interesse des Unternehmens,

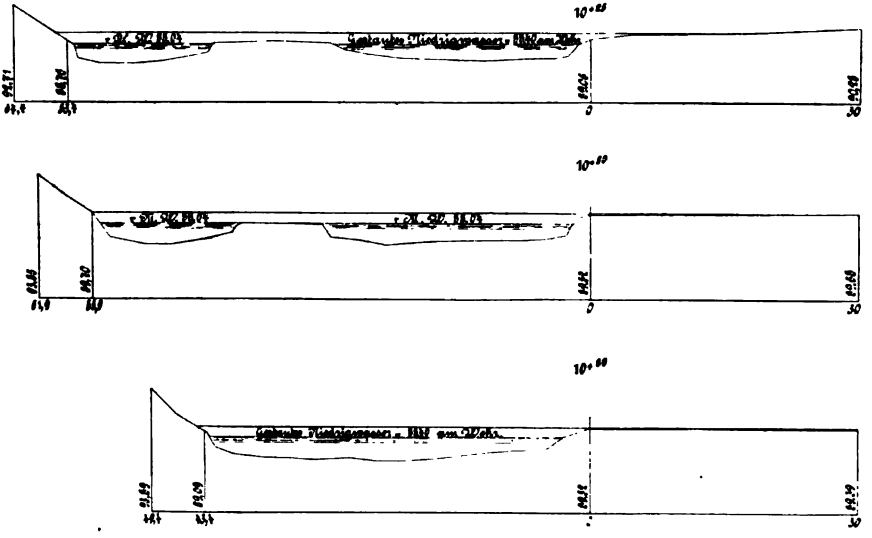


Abb. 11. Querschnitte der Wupper im Oberwasser des Elektrizitätswerkes der Stadt Solingen. Die Aufmessung der Querschnitte im Ober- und Unterwasser erfolgte in dem Umfange, wie aus den Lageplänen Abb. 8 und 10 ersichtlich ist.

um späteren Weiterungen mit den Anliegern aus dem Wege zu gehen. Eine Änderung der Hochwasserstände wird meist unstatthaft sein. Wo landwirtschaftliche Interessen in Frage kommen, wird der Einfluß des gestauten Wassers oberhalb des Wehres auf die Grundwasserstände der benachbarten Ländereien zu untersuchen sein.

Weiterhin ist zu prüfen die Wasserentziehung in den trockengelegten Flußstrecken infolge der Umleitung des Kraftwassers nach dem Betriebskanale, sowie im Unterwasser die eventuelle Absenkung der Niedrigwasserstände. Änderungen der Flußsohle und unnötige Gefällverluste sind zu vermeiden, eine Absenkung derselben besonders

im Unterwasser, um an Gefälle zu gewinnen, kann dabei in Frage kommen.

Die Abb. 7 bis 11 lassen die Art und den Umfang der Aufmessungen im Ober- und Unterwasser der Wupper erkennen, durch die diese Verhältnisse bei der Stauung und Umleitung der Wupper behufs Nutzbarmachung eines Gefälles von 5 m bei einer Wasserführung von 12 cbm/sek. bei M. W. und 20 cbm/sek. bei H. W. für das Solinger Elektrizitätswerk klargestellt wurden. Es handelte sich hier im besonderen darum, eine Hebung des Hoch- und Mittelwasserstandes oberhalb des Wehrs zu vermeiden wegen oberhalb belegener Kraftwerke und Ländereien. Vergl. auch den Lageplan in Abschn. V H.

F. Entwurfsaufstellung für Talsperren- und Wasserkraftanlagen.

Die in den vorstehenden Abschnitten gepflogenen Erörterungen werden die Hauptgesichtspunkte erkennen lassen, die bei den ersten vorbereitenden Arbeiten für ein Wasserkraftunternehmen Richtung und Weg angeben müssen. Sie deuten auch die Art und den Umfang der Pläne und Entwurfsstücke an, die geschaffen werden müssen, um die allgemeine Lage des Staubeckens und der Wasserkraftwerke und ihre Konstruktionseinrichtungen darzutun. Eine besondere Stellung nehmen dabei die Entwürfe für Talsperren ein.

Zum weiteren Anhalt für die Aufstellung der Entwürfe zu Wasserkraftanlagen seien die Vorschriften der Gewerbeordnung vom 1. Mai 1904 (Min.-Bl. der Handels- und Gewerbeverwaltung S. 123) mitgeteilt, die für die zur Prüfung einzureichenden Entwürfe gelten. Die Ausführungsanweisung enthält unter No. 12 Abs. 1, 2a—c, No. 13 u. 14 die folgenden Festsetzungen:

12. Aus dem Antrage müssen der vollständige Name, der Stand und der Wohnort des Unternehmers ersichtlich sein. Dem Antrage sind in drei Exemplaren eine Beschreibung, eine Situationszeichnung und der Bauplan der Anlage beizufügen.

Aus diesen Vorlagen müssen hervorgehen:

a) die Größe des Grundstücks, auf dem die Betriebsstätte errichtet werden soll, seine Bezeichnung im Grundbuch oder im Kataster und der etwaige besondere Name;

b) die gleichartige Bezeichnung der umliegenden Grundstücke und die Namen ihrer Eigentümer;

c) die Entfernung, in der die zum Betriebe bestimmten Gebäude oder Einrichtungen von den Grenzen der benachbarten Grundstücke und den darauf befindlichen Gebäuden sowie von den nächsten öffentlichen Wegen liegen sollen;

13. Bei Stauanlagen ist eine Zeichnung aller Stauvorrichtungen einschließlich der Gerinne und Wasserräder (Turbinen) beizubringen. Außerdem ist ein Nivellement erforderlich, in dem dargestellt sein muß:

a) das Längenprofil des zum Betriebe bestimmten Wasserlaufes und des Mutterbaches,

b) eine Anzahl von Querprofilen beider,

c) eine Anzahl Talquerprofile

und das so weit auszudehnen ist, als die Wirkungen der anzulegenden Stauwerke bei Hochwasser reichen; auch müssen die Wirkungen der übrigen Wasserführungen erkennbar gemacht werden. Die Profile sind auf eine und dieselbe Horizontale zu beziehen; diese ist an einen unverrückbaren Festpunkt anzuschließen.

Es bedarf ferner einer Angabe der Höhe des gewöhnlichen, des niedrigsten und des höchsten Wasserstandes sowie der Wassermengen, die der Wasserlauf bei den verschiedenen Wasserständen führt, und einer Mitteilung darüber, welche Stauwerke sich unmittelbar ober- und unterhalb der projektierten Anlage befinden.

In dem Situationsplane sind die Grundstücke, die an den Wasserlauf stoßen, soweit der Rückstau reicht, mit der Nummer, die sie im Grundbuche oder Kataster führen, und mit dem Namen des Eigentümers zu bezeichnen.

14. Für die erforderlichen Zeichnungen ist ein Maßstab zu wählen, der eine deutliche Anschauung gewährt; der Maßstab ist stets auf den Zeichnungen einzutragen, auch sind die Himmelsrichtungen anzugeben. Für die Zeichnungen ist haltbares auf Leinwand aufgezogenes Zeichenpapier oder durchsichtige Zeichenleinwand zu verwenden. Nivellements und die dazu gehörigen Situationspläne sind von vereideten Feldmessern oder von Baubeamten anzufertigen. Alle anderen Aufmessungen und Zeichnungen können von den mit der Ausführung betrauten Technikern und Werkmeistern angefertigt werden. Beschreibungen, Zeichnungen

und Nivellements sind von demjenigen, welcher sie gefertigt hat, und von dem Unternehmer zu unterscheiben.

Der Entwurf zu einer Talsperre hat sich in seinen Hauptpunkten mit der Klarstellung der wasserwirtschaftlichen, geologischen und Untergrundsverhältnisse und der Aufstellung eines Wasserwirtschaftsplanes zu befassen, worüber näheres weiterhin mitgeteilt wird. Die Querschnittsgestaltung und Standsicherheitsberechnung der Sperrmauer, die Maßnahmen für die Dichtigkeit des Bauwerks und der Einrichtungen, die notwendig sind, um bei Hochwasser eine Entlastung des Beckens zu schaffen und einen regelrechten Betrieb für die Entnahme des Wassers zu Nutzzwecken zu sichern, sind ebenfalls im Entwurfe darzulegen. Die Sicherheit einer Talsperrenanlage hängt nicht lediglich von der richtigen Konstruktion, sondern auch von der Sorgfalt der Bauausführung und der Güte der Baustoffe ab. Es ist also notwendig, schon bei den Entwurfsarbeiten die Art der zu verwendenden Baustoffe und der Baustoffuntersuchungen während der Bauausführung zu erörtern und die »Besonderen Ausführungsbedingungen« aufzustellen.

Auf die konstruktiven Einzelheiten, die eigenartigen Gründungsarbeiten und die Bauausführung der Talsperren soll hier nicht näher eingegangen werden.[1])

Der Talsperrenbau hat sich als ein bedeutsames Mittel zur Förderung der Wasserwirtschaft erwiesen und als solches die nachdrücklichste Unterstützung der Behörden gefunden. Auf der anderen Seite aber gebieten die außerordentlichen Schäden an Leben und Gut, welche im Falle eines Bruches von Staumauern die herabstürzenden Wassermassen über ausgedehnte Gebiete bringen können und der mit einer Sammelbeckenanlage verbundene erhebliche Eingriff in die natürliche Wasserführung der Bäche und Flüsse und in die wirtschaftlichen Verhältnisse des umgebenden Gebietes, daß eine sorgsame Staatsregierung der Verhütung von Gefahren und Nachteilen ihre vollste Aufmerksamkeit zuwendet. Es ist daher der preußischen Staatsregierung notwendig erschienen, diese Bauausführungen genauer staatlicher Aufsicht zu unterstellen.

Um sowohl für die Entwurfsbearbeitung und die Bauweise, als auch

1) Dieser Gegenstand wird vom Verfasser in Teil III, Band 2 des Handbuchs der Ingenieurwissenschaften eingehend behandelt werden. Über die konstruktiven Einrichtungen und Berechnung der Talsperren s. auch des Verfassers Darstellungen Zeitschrift für Bauwesen 1904, S. 296 ff.

für die spätere Unterhaltung und den Betrieb der Talsperren eine gleichmäßige Behandlung zu sichern, sind neuerdings von der preußischen Regierung allgemeine Vorschriften erlassen worden, in welchen die für die Beurteilung der einschlägigen technischen Fragen maßgebenden Gesichtspunkte aufgestellt und für deren Durchführung Regeln gegeben werden. Diese sind zusammengefaßt in einer »Anleitung für Bau und Betrieb von Sammelbecken« nebst der Anlage »Muster zu einer Dienstanweisung für Stauwärter bei Sammelbecken«. Es wird bemerkt, daß die Anleitung in dem im Verlage von Paul Parey, Berlin SW. 11, Hedemannstraße 10 erscheinenden Ministerialblatt der Verwaltung für Landwirtschaft, Domänen und Forsten für 1907 auf S. 195 bis 206 abgedruckt worden ist.[1]) Sammelbecken im Sinne dieser Anleitung werden zur Ansammlung von Wasser durch Stauanlagen gebildet, deren Höhe von der Sohle des Wasserlaufs bis zur Krone des Bauwerks mehr als 4 m beträgt oder die bis zur Bauwerkskrone eine Ansammlung von mehr als 30000 cbm Wasser ermöglichen. Kleinere Becken werden von diesen Vorschriften nur betroffen, falls ein Bruch des Bauwerks erhebliche Gefahren herbeiführen würde. Talsperrenangelegenheiten sind, wie der begleitende Ministerialerlaß ausführt, als landespolizeiliche anzusehen, sofern nicht besondere Umstände (geringer Umfang, Geländebeschaffenheit usw.) eine über den Umfang des Bezirks nachbarlicher Gemeinschaften hinausreichende Einwirkung der Anlage ausschließen. Die Bedingungen für die Bauausführung und den Betrieb werden in einer auf Grund der Prüfung auszufertigenden Genehmigungsurkunde vorgeschrieben, nachdem in größeren und besonders gearteten Unternehmungen die Zustimmung der zuständigen Ministerien (Inneres; Handel und Gewerbe; Öffentliche Arbeiten; Landwirtschaft, Domänen und Forsten) eingeholt ist.

Aus den Vorlagen, die für die Prüfung und Genehmigung einzureichen sind, muß, soweit nicht mit Rücksicht auf die geringe Bedeutung einer zu prüfenden Anlage in einzelnen Punkten Ausnahmen angemessen sind, folgendes zu entnehmen sein:

1. Die — zweckmäßig in Generalstabskarten oder Meßtischblättern dargestellte — allgemeine geographische Lage der Stauanlage, des Sammelbeckens, seines Niederschlagsgebietes und des Vorflutgebietes unterhalb des Sammelbeckens bis zu einem größeren Wasserlauf.

1) S. auch Zentralbl. der Bauverwalt. 1907, S. 525.

2. Die genaue Lage und Begrenzung des Beckens sowie die Gefällverhältnisse des Tales bis zu dem unter 1 bezeichneten größeren Wasserlauf.

3. Die Abmessungen der Stauanlage in Grundrissen, Querschnitten und Ansichten, die Höhenlage der Stauziele.

4. Die Größe, Bebauungsart und Steilheit des Niederschlagsgebietes des Sammelbeckens, die dem letzteren jeweilig zuströmenden Wassermengen und deren Beschaffenheit, der Fassungsraum des Beckens, die bisherige und künftige Ausnutzung des Wassers, die Schaffung eines etwaigen Hochwasserschutzraumes und dementsprechend der allgemeine Betriebsplan.

5. Die Einrichtungen zur Abführung des überschüssigen Hochwassers, die Nebenanlagen, soweit sie zur Entlastung des Beckens in Beziehung stehen, die Abmessungen der Grundablässe und Rohrleitungen, ihr Einbau und ihre Verschlüsse mit den Bewegungsvorrichtungen, ihre Auskömmlichkeit, um namentlich bei Gefahren die Überschreitung einer bestimmten, im Entwurfe vorgesehenen Stauhöhe unter jedem Wasserzuflusse sicher verhüten zu können und die rechnerisch ermittelte Wassermenge, die der Wasserlauf unterhalb des Sammelbeckens innerhalb der Ufer ohne Nachteil für die Anlieger abführen kann.

6. Die durch einen Geologen, auf Erfordern durch einen Beamten der Geologischen Landesanstalt Berlin begutachteten geologischen Verhältnisse des die Stauanlage umgebenden Gebietes, soweit seine Beschaffenheit für die Standsicherheit und Dichtigkeit des Talabschlusses in Betracht kommt, insbesondere die Beschaffenheit der Gründungssohle im Tale und an den seitlichen Hängen, die durch Schürfversuche[1]) ermittelte Beschaffenheit, Lagerung, Dichtigkeit und Tragfähigkeit des Bodens, die Dichtigkeit, mittlere Stärke und Einfallsrichtung etwa vorhandener Felsschichten, namentlich in Rücksicht darauf, ob Abrutschungen durch den Wasserdruck begünstigt werden und ob die Beschaffenheit des Bodens, insbesondere unterirdische Gänge und Klüftungen, dem Druckwasser Gelegenheit zu Unterspülungen geben können, ferner die natürlichen Quellenverhältnisse, die Höhen- und Grundrißlage der zur Entnahme von Baustoffen in Aussicht genommenen Stellen, die Zu-

1) Von Schürfversuchen kann abgesehen werden, wenn sie bei vollständig klarer Sachlage von dem zugezogenen Geologen für nicht notwendig erachtet werden.

lässigkeit der Entnahme und schließlich die Eignung der zu verwendenden natürlichen Baustoffe.

Die Art, Beschaffenheit und Zusammensetzung der zu verwendenden Baustoffe mit Rücksicht auf Festigkeit, Dichtigkeit und Formbeständigkeit des Mauer- oder sonstigen Dammwerks, insbesondere die Ermittlung ihrer Einheitsgewichte im lufttrocknen Zustande.

8. Die im Innern des Bauwerks wirkenden Kräfte bis zur Grundfläche und die sich hieraus ergebenden Flächeneinheitsspannungen der einzelnen Bauteile unter den für sie in Betracht kommenden gefährlichsten Voraussetzungen, wobei der Stau in Rücksicht auf etwa verstopfte Hochwasserüberfälle in der Regel bis zur Bauwerkskrone reichend anzunehmen ist.

9. Die Art und Weise, wie die Baustoffe geprüft, bearbeitet, auf der Baustelle befördert und verbaut werden sollen.

10. Die Vorkehrungen zur Dichtung des Bauwerks im Anschlusse an das Gebirge zur Verhütung von Durchsickerungen und Auftriebwirkungen, und zwar nicht nur an der Grundfläche des Bauwerks, sondern je nach der Beschaffenheit der oberen Bodenschichten und des Felsens auch in der Beckensohle weiter aufwärts, ferner die Vorkehrungen zur Dichtung des Bauwerks, um Durchsickerungen und Auftriebwirkungen im Innern des Staukörpers zu vermeiden.

11. Die Vorrichtungen zur Messung von Bewegungen des Bauwerks, sowohl solcher infolge der elastischen Formänderung durch den Wasserdruck oder durch Erwärmung, als auch solcher aus einer etwaigen Verschiebung des gesamten Bauwerks auf seiner Grundlage.

12. Die Merkzeichen zur Kennzeichnung der Stauziele und Vorschläge für die anzubringenden Festpunkte.

13. Die Einwirkungen des Rückstaues auf das am Sammelbecken liegende Gelände und seine Grundwasserführung, die Erhaltung eines geregelten Wasserzuflusses und die Wirkungen der Abflußänderungen für die Unterlieger sowie die etwaigen Einrichtungen zur Schaffung eines Hochwasserschutzraumes und deren Handhabung, ferner die mit den Beteiligten oder den Behörden dieserhalb bereits gepflogenen Verhandlungen.

14. Die Vorkehrungen zur Abführung des während des Baues ankommenden Hochwassers.

15. Die etwa einzurichtenden telephonischen und telegraphischen Anlagen.

16. Die besonderen Ausführungsbedingungen.

G. Grunderwerb.

Wenn man grundsätzlich über die Ausführung schlüssig geworden ist, so wird man gut tun, so schnell wie möglich, für eine Staubeckenanlage die zu überstauenden und sonst für Kraftgebäude, Betriebskanäle, Steinbrüche usw. zu benutzenden Grundstücke ohne viel Geräusch zu erwerben oder sich zu festen Preise an die Hand geben zu lassen, um an dem Baubeginn nach dieser Richtung hin nicht behindert zu werden. Der Grunderwerb ist eine mühselige und langwierige Sache. Das nächste Bestreben muß der freihändige Erwerb sein. In vielen Fällen aber wird man nur im Wege der Enteignung zum Ziele gelangen, denn es ist bekannt, daß bei der Inswerksetzung eines solchen öffentlichen Großunternehmens die geforderten Grundstückspreise oft ins Ungemessene sich steigern. Zu diesem Zwecke ist zumeist erforderlich, sofern die Vorbedingungen aus Gründen des öffentlichen Wohles gegeben sind, sich die Verleihung des Enteignungsrechtes zu sichern.[1]) Dieses wird zu erwirken sein nicht nur für das zur Anlegung und den Betrieb der Talsperre notwendige Grundeigentum, sondern auch für die Nebenanlagen; insbesondere für Kraftgebäude, Rohrleitungen, Kanäle, Wegebauten, Wirtschaftsgebäude, elektrische Kraftleitungen und alle Anlagen, die zur vollen wirtschaftlichen Ausnutzung des Werkes nötig sind. Das führt zu langdauernden Verhandlungen, Abschätzungsverfahren u. a. m. und man wird acht geben müssen, daß nicht in der Zwischenzeit die Talsperre selbst fertig gestellt wird und die Aufstauung des Wassers durch einzelne noch nicht erworbene Grundstücke im Staubecken und damit die Inbetriebsetzung der Anlage verzögert wird. Die Frage der mit dem Grunderwerb nahe zusammenhängenden Entschädigung für Wasserentziehung, die die Unterlieger einer Talsperre erleiden, findet ihre Erledigung meist bei dem landespolizeilichen Genehmigungs- und Planfeststellungsverfahren. Einige Mitteilungen zur Beurteilung der sich hieraus wie aus dem Grunderwerb ergebenden Kosten sind in Abschn. IV A gemacht worden.

1) Für Preußen: Gesetz über die Enteignung von Grundeigentum vom 11. Juni 1874 (G. S. S. 221).

III. Die technischen Grundlagen zur Ausnutzung der Wasserkräfte.

A. Die Wassermenge.

Die erste Aufgabe beim Entwurf von Wasserkraftanlagen ist die Bestimmung des Wasserabflusses. Endgültigen Aufschluß darüber können nur unmittelbare Messungen geben. Nicht aus gelegentlichen, selbst nicht aus täglichen Feststellungen kann man bei dem schroffen Wechsel in der Wasserführung der Gebirgsbäche die Jahresabflußmenge berechnen, sondern nur durch ununterbrochene Aufzeichnung selbstschreibender Apparate. Diese Abflußmengenmessungen sind zeitraubend und müssen sich über eine Reihe von Jahren — wenigstens etwa zehn — erstrecken, wenn sie ausreichende Gültigkeit für die Beurteilung des Wasserhaushaltes haben sollen. An den schiffbaren Flüssen sind Beobachtungen über die Wasserbewegungen zum Teil schon seit Jahrzehnten angestellt. Diese Pegelablesungen haben sich bei den Vorarbeiten zu Wasserkraftanlagen oft als wertvoll erwiesen, denn man ist imstande, daraus nachträglich die Abflußmengen zu ermitteln, wenn man sich auf Grund von jetzt vorzunehmenden unmittelbaren Messungen eine Abflußkurve bildet. Voraussetzung ist dabei allerdings, daß sich die Höhenlage des Pegels und die Strombettverhältnisse nicht geändert haben [1]). Für die Kenntnis der Abflußverhältnisse in den Gebirgsflüssen liegen aber selbst solche Beobachtungen nur in seltenen Fällen vor. Und wenn auch heute ein kräftiges Vorgehen zur Erforschung auf diesem Gebiete sich anbahnt, so werden doch noch Jahrzehnte vergehen, ehe verläßliche Beobachtungsreihen vorliegen. Am besten ist noch unsere Kenntnis von den Niederschlägen. Regenmesser an vielen Stellen des Landes, in verschiedener

1) Zentralbl. der Bauverwaltung. 1900. S. 260.

Lage über Meereshöhe aufgestellt, haben lange Jahre hindurch die Niederschläge verzeichnet und zur Ausarbeitung von übersichtlichen Regenkarten mit Linien gleicher Regenhöhe geführt. Die Veröffentlichung über die Ergebnisse dieser Beobachtungen erfolgt für Preußen durch das Kgl. Preuß. Meteorologische Institut, nachdem im Jahre 1887 die Einrichtung eines ganz Norddeutschland umfassenden Netzes von Regenstationen ihren Anfang genommen hatte. Die planmäßige meteorologische Landesaufnahme begann in Preußen im Jahre 1847 mit der Einrichtung dieses Instituts, dessen Entstehung wesentlich auf die Bemühungen Alexander v. Humboldts zurückzuführen ist. Bereits im Jahre 1856 wurden die ersten Anregungen zur Errichtung von Regenstationen besonders von landwirtschaftlicher Seite laut. Ein dichtes Netz von rund 2600 Stationen überzieht gegenwärtig Norddeutschland. In Bayern waren im Jahre 1902 252 Stationen, in Sachsen 166, Württemberg 90, Baden 49, Hessen 32 und Elsaß-Lothringen 70 Regenstationen vorhanden.

Ermittlung der Niederschlags- und Abflußmengen.

Die Messungen der Niederschlags- und Abflußmengen sind notwendig, um ein klares Bild des Wasserhaushaltes zu bekommen. Für die Ermittelung der Höhe der jährlichen Niederschläge werden im Einzugsgebiet des Wasserlaufes entweder gewöhnliche Regenmesser aufgestellt, die in regelmäßigen Zwischenräumen, etwa täglich einmal, beobachtet werden, oder selbstaufzeichnende Regenmesser, die die Niederschläge nach Zeit und Menge aufschreiben. Bei größeren Beobachtungsgebieten empfiehlt es sich, mehrere Messer in verschiedener Meereshöhe aufzustellen, da die Regenhöhen mit den Gebirgshöhen und mit der Lage — gegen den Wind oder im sog. Regenschatten — wechseln. Bei den Beobachtungen des Meteorologischen Instituts entfällt im norddeutschen Flachland 1 Station auf 250 bis 350 qkm, in den Gebirgsgegenden kommt eine Regenstation auf 20 bis 30 qkm. Bei der Verteilung und Auswahl der Stationen sind hauptsächlich topographische Gesichtspunkte maßgebend gewesen. Die Niederschlagshöhe wird um 7 Uhr morgens gemessen. Die Messungen beziehen sich auf die tägliche Niederschlagshöhe, Monats- und Jahressummen, größte Tagesmengen, große Niederschläge in kurzer Zeit, mittlere Niederschlagshöhen längerer Zeiträume, Wassergehalt der Schneedecke u. a. m.

Auf die Einzelheiten des Meßverfahrens soll hier nicht näher eingegangen werden. Ausführliche Mitteilungen darüber befinden sich in den oben erwähnten Mitteilungen des Preuß. Met. Instituts und im Handbuch der Ingenieurwissenschaften III. Teil, I. Band IV. Aufl.[1]). Über entsprechende Vorarbeiten für die Talsperre von Marklissa s. Zeitschr. f. Bauwesen 1903.

Die Ergebnisse der Niederschlagsmessungen in den Jahren 1893 bis 1902 an 3000 Orten hat Hellmann in einer Regenkarte von Deutschland zusammengetragen[2]). Von den preußischen Provinzen sind Sonderkarten vorhanden. Diese Karten bieten eine gute Unterlage und Übersicht für vorläufige Ermittlungen. Als allgemeine Gesichtspunkte haben sich daraus ergeben, daß in Deutschland die Niederschlagsmenge von Westen nach Osten abnimmt, sowohl an der Küste wie im flachen und gebirgigen Binnenland. Die Regenmenge ist von der senkrechten Gliederung des Landes sehr abhängig, so daß die Regenkarte von Deutschland bis zu einem gewissen Grade seiner Höhenschichtenkarte sich anpaßt. Dabei kommt die absolute Höhe eines Ortes weniger in Betracht als die relative. Die Lage des Ortes in bezug auf die regenbringenden Winde ist von entscheidendem Einfluß. Ein interessantes Beispiel bietet in dieser Hinsicht das niederschlagsreiche bergische Land im Gebiet der Wupper (Rhein). Die Höhen dieses Bezirkes bilden die erste große Bodenerhebung, an welche die von Westen kommenden, die Feuchtigkeit des Meeres mit sich führenden Winde anprallen, so daß bedeutende Regenmengen, bis fast 1300 mm jährlich niedergehen. Es hat sich ferner gezeigt, daß die Flußtäler in ihrem mittleren Lauf, namentlich wenn sie von Erhebungen begleitet sind, trockener als die Nachbarschaft sind.

Die äußersten Grenzen, zwischen denen die mittlere Jahresmenge des Niederschlags in Deutschland schwankt, sind 212 und 41 cm. Die niederschlagreichsten Gebiete liegen in der Südwest- und in der Südostecke von Deutschland, die niederschlagärmsten Orte in Norddeutschland. Das umfangreichste Trockengebiet nimmt fast den ganzen östlichen Teil der Provinz Posen und den mittleren Teil von Westpreußen ein. Zur allgemeinen Beurteilung der Niederschlagsverhältnisse Deutsch-

1) s. auch Hellmann, Die Niederschläge in den norddeutschen Stromgebieten.
2) Berlin 1906.

lands mögen die Angaben der nachfolgenden Tabelle 2 dienen. Eine Übersicht über die Verteilung der Niederschläge im Jahreslauf gibt Tabelle 3.

Tabelle 2.

Die größten und die kleinsten mittleren Jahresmengen des Niederschlags in den deutschen Staaten (1893—1902)[1].

Ort	Seehöhe m	Regenhöhe cm	Ort	Seehöhe m	Regenhöhe cm
Königreich Preußen.					
Brocken[2]	1142	170*	Pakosch (Kreis Mogilno)	75	41
Jakobsthal (Riesengebirge)	870	154*	Argenau (Kreis Hohensalza)	80	42*
Prinz Heinrich-Baude	1400	150	Kunzendorf (Kreis Thorn)	94	42
Karlsthal	830	146*	Mogilno	95	43
Kirche Wang	873	137	Bienkowko (Kreis Kulm)	25	44
Gogarten (Kreis Wipperfürth)	350	134*	Oberröblingen (Mansfelder Seekreis)	94	44*
Klausthal (Harz)	585	133	Egeln (Kreis Wanzleben)	68	45
Mühlen-Schmidthausen (Kreis Altena)	330	131*	Bellinchen (Kreis Königsberg i. N.)	5	45*
Monte Rigi (Venn)	670	130*	Penkun (Kreis Randow)	30	45
Königreich Bayern.					
Riemannshaus	2133	210*	Grünstadt	167	43*
Weißbach bei Innzell	611	202*	Frankenthal	95	51
Hohenaschau	550	199	Arnstein	234	53*
Bad Kreuth	829	193*	Schweinfurt	211	53*
Stuben	874	190*	Hohenberg a. d. Eger	526	53*
Scheidegg bei Lindau	735	188*	Speyer	98	54*
Einödsbach bei Oberstdorf	1150	177*	Uffenheim	337	54*
Königreich Sachsen.					
Altenberg	754	136	Merschwitz a. d. Elbe	100	52
Oberwiesenthal	922	118*	Röcknitz bei Wurzen	120	53*
Kriegwald	745	116*	Strehla a. d. Elbe	115	55*
Fichtelberg-Gasthof	1213	114	Skassa bei Großenhain	115	59
Reitzenhain	772	113			
Königreich Württemberg.					
Ruhestein bei Freudenstadt	915	192	Mergentheim	210	63
Zwieselberg bei Freudenstadt	850	156*	Ehingen a. d. Donau	514	65*
Schömberg bei Freudenstadt	745	143	Spielbach bei Gerabronn	451	65*
Freudenstadt	718	142	Heilbronn	171	65
Isny	721	138*	Ulm a. d. Donau	479	66
Gaisthal bei Herrenalb	428	133*	Freudenbach bei Mergentheim	365	66

1) Nach Hellmann.

2) Die mit einem Stern versehenen Werte sind durch Reduktion gewonnen.

Ort	See-höhe m	Regen-höhe cm	Ort	See-höhe m	Regen-höhe cm
Großherzogtum Baden.					
Feldberg-Gasthaus . . .	1267	189	Todtnauberg	1027	162
Herrenwies	758	184	Mannheim	96	52
Todtmoos	807	175	Wertheim am Main . . .	141	58
Hofsgrund	1146	173	Bretten	183	69*
Neuenweg	727	170*	Schelingen bei Freiburg .	314	69
Kniebis	900	168			
Großherzogtum Hessen.					
Felsberg im Odenwald . .	512	137	Monsheim	140	43*
Grebenhain im Vogelsgebirge	436	108	Mainz	87	46
			Alzey	191	48
Bremhof im Odenwald . .	401	81*	Worms	96	48*
Reichslande Elsaß-Lothringen.					
Gebweiler Belchen . . .	1394	212	Kolmar	189	48
Lauchenweier	924	210*	Altbreisach	193	55
Alfeld	620	206	Ergersheim bei Straßburg .	160	62
Wildenstein	570	193	Metz	177	62

Die größten und die kleinsten mittleren Jahresmengen des Niederschlags (in Zentimetern) in den preußischen Provinzen und in den übrigen norddeutschen Staaten (mit Ausschluß des Königr. Sachsen) (1893—1902).

Provinz Ostpreußen . . .	74	51	Provinz Schleswig-Holstein	82	57
» Westpreußen . .	72	42	» Hannover	133	60
» Brandenburg . . .	71	45	» Westfalen	131	61
» Pommern	79	45	» Hessen-Nassau . .	104[2]	47
» Posen	59	41[1]	» Rheinland	134	47
» Schlesien	154	48	Hohenzollern	125	64
» Sachsen	170	44			
Großherzogt. Mecklenburg	68	55	Herzogtum Anhalt	78	47
Großherzogt. Oldenburg .	82	69	Fürstentum Waldeck . . .	102	54
Herzogtum Braunschweig .	124	57	» Lippe-Detmold	115	66
Sächs.-Thüring. Staaten .	125	50	Freie Städte	72	62

Tabelle 3. Verteilung der Niederschläge auf die Jahreszeiten.

	Remscheid mm	Cöln mm
Winter (Dezember, Januar, Februar) . . .	349,8	130
Frühling (März, April, Mai)	230,5	133
Sommer (Juni, Juli, August)	330,2	191
Herbst (September, November, Dezember)	356,5	142
Zusammen	1267,0	596

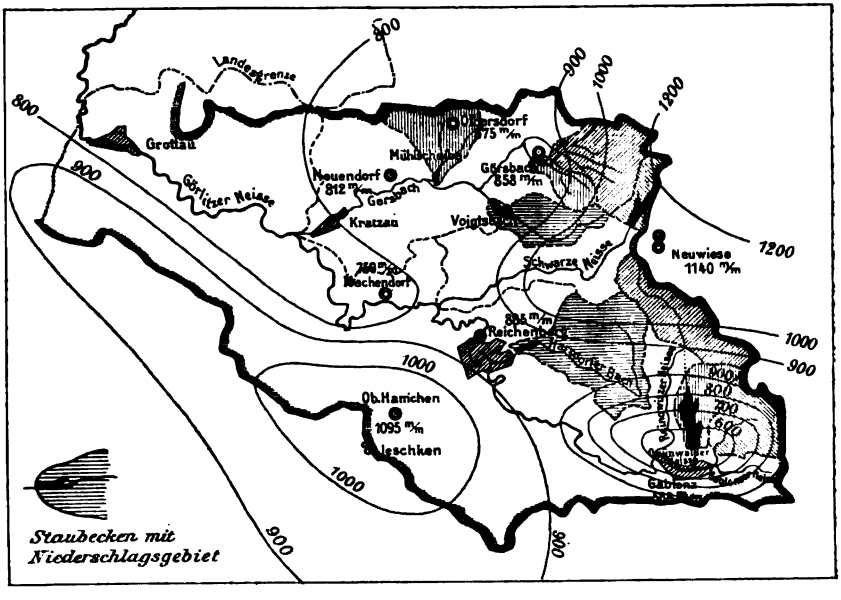
1) Kruschwitz am Nordende des Goplosees im Kreise Mogilno hat sogar nur 38 cm jährliche Niederschlagshöhe, doch steht der Wert so vereinzelt da, daß er noch etwas zweifelhaft erscheint.

2) In dem außerhalb der Provinz gelegenen, aber zu ihr gehörigen Kreise Schmalkalden 108 cm.

Im großen Durchschnitt beträgt die Höhe der jährlichen Niederschläge in Deutschland 660 mm und es entfallen davon

auf den Winter 18,1 v. H.
» » Frühling 22,4 » »
» » Sommer 36,0 » »
» » Herbst 23,5 » » [1])

Auf Grund dieser Messungsergebnisse können dann die Regenkarten angefertigt werden (Abb. 12). Die festgestellte Regenhöhe multipliziert



Nach Intze, Talsperren im Quellgebiet der Görlitzer Neiße.

Abb. 12. Regenkarte mit Linien gleicher Niederschlagshöhe.

mit der Größe des Niederschlagsgebietes ergibt die gesamte Wassermenge, die herniedergegangen ist.

Die Messung der Abflußmengen wird möglichst in der Nähe jener Stelle des Flusses vorgenommen, an der das Kraftwerk oder die Talsperre angelegt werden soll. Für überschlägliche Ermittelungen können Schwimmermessungen genügen. Mittels einfacher Kugelschwimmer wird die Wassergeschwindigkeit der Oberfläche in einer am Ufer aus-

1) Nach Hellmann im Handb. d. Ing.-Wiss. III. Teil, I. Bd., S. 23 IV. Aufl. Weiteres über Niederschlagshöhen und ihre Verteilung s. in den angegebenen Quellen.

gemessenen Flußstrecke ermittelt und durch entsprechende Verkleinerung um etwa 0,8 die mittlere Geschwindigkeit gefunden (s. Tab. 4, die hierfür genauere Beziehungen gibt). Diese Messungen müssen bei verschiedenen Wasserständen wiederholt werden. Nach Auf-

Tabelle 4.

Mittlere Geschwindigkeiten im Durchflußquerschnitt bei verschiedener Beschaffenheit des Flußbettes (nach Bazin).

Geschwindigkeit im Stromstrich $= v_o$.
» » Mittel $= v$.

Hydraulischer Radius $R = \frac{F}{U} =$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	2,0	3,0	6,0	$\frac{v_o}{v}$
Glatter Putz und gehobeltes Holz . . .	0,84	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	
Hausteine, ungehobelte Bretter, unverputzter Beton.	0,80	0,82	0,82	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,84	0,84	0,84	
Bruchsteinmauerwerk .	0,72	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,80	0,81	0,81	0,82	0,82	
Erde	0,54	0,61	0,65	0,68	0,70	0,71	0,72	0,74	0,77	0,78	0,80	
Gerölle und Geschiebe	0,45	0,53	0,58	0,61	0,63	0,65	0,67	0,68	0,72	0,74	0,76	

messung des Querprofiles innerhalb der Meßstrecke kann man sich die Abflußmengen (Fv) berechnen und hiernach eine Abflußmengenkurve aufzeichnen. Wenn man diese Kurve in Beziehung setzt zum Nullpunkt eines Pegels, der am Meßquerschnitt für diesen Zweck er-

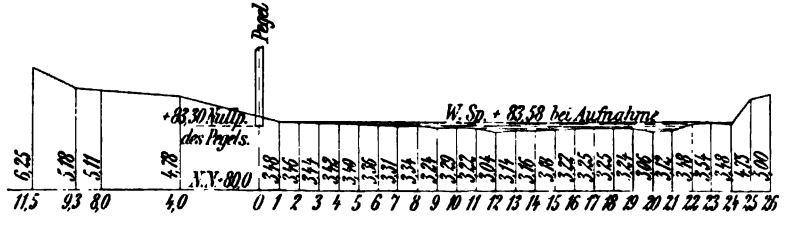


Abb. 13. Querschnitt durch die Wupper bei Strohn unterhalb Burg.

richtet ist, so ist man in der Lage, aus täglich mehrmals, im Bedarfsfalle stündlich wiederholten Pegelablesungen den Abfluß des Flusses unmittelbar zu verfolgen. Dieses Verfahren liefert im ganzen befriedigende Ergebnisse und der Verfasser wandte es bei Wassermengenmessungen in der Wupper an. Es wurde zu diesem Zwecke eine regelmäßig ge-

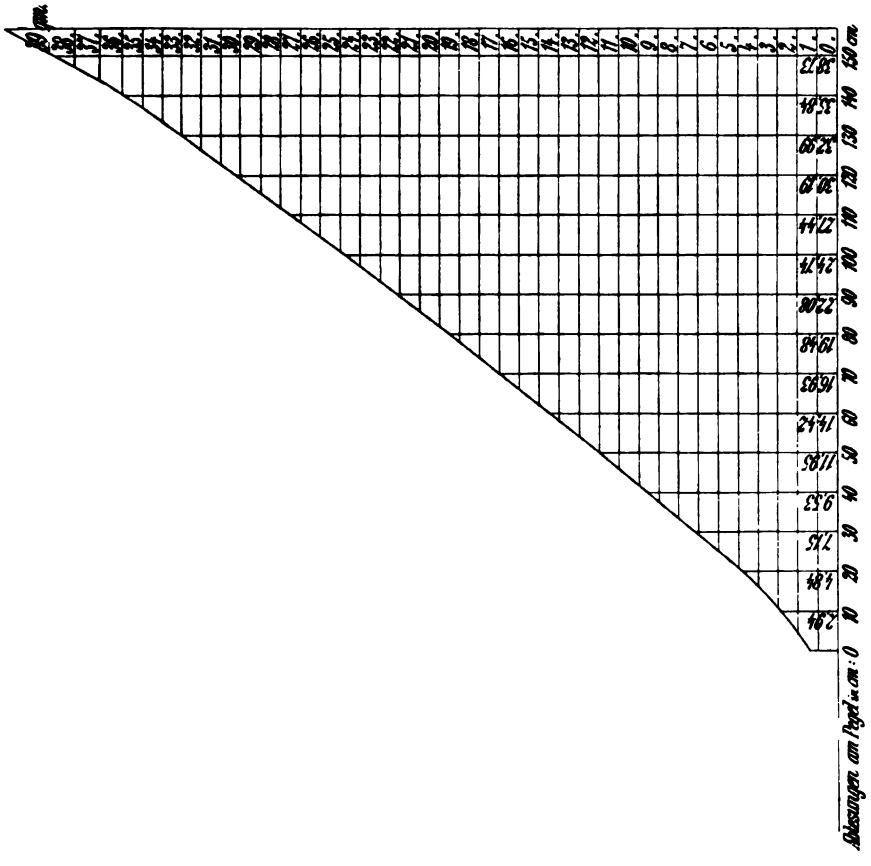


Abb. 14. Durchflußflächenkurve des Wupperquerschnittes bei Strohn.

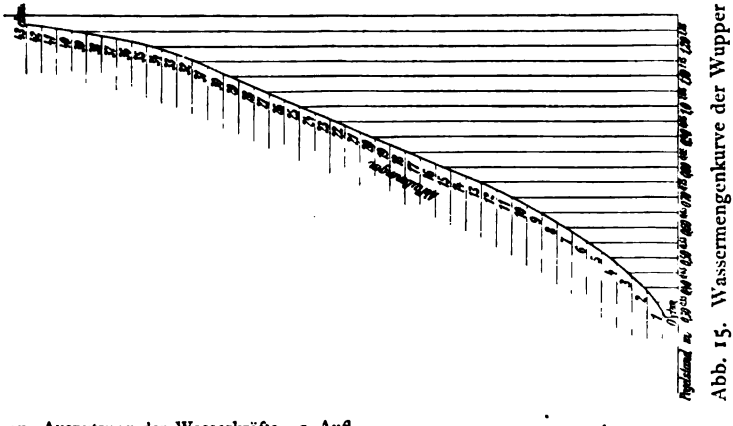


Abb. 15. Wassermengenkurve der Wupper bezogen auf den Pegel bei Strohn.

staltete Flußstrecke von etwa 50 m Länge ausgesucht. In der Mitte der Strecke wurde ein Querschnitt aufgemessen (Abb. 13) und dessen Fläche bei verschiedenen Wasserständen in Beziehung gesetzt zu einem am Ufer aufgestellten Pegel. Daraus ergab sich die in Abb. 14 dargestellte Durchflußflächenkurve. Die der Berechnung zugrunde gelegte Wassergeschwindigkeit wurde durch wiederholte Messungen mittels Schwimmer (Flasche) in der Flußmitte (Stromstrich) bei den mannigfachsten Wasserständen bestimmt und die ermittelten Abflußmengen auf 0,8 verringert. Die darnach konstruierte Wassermengenkurve s. Abb. 15.

Für genaue Messungen empfiehlt es sich, in den Wasserlauf ein Wehr einzubauen (Abb. 16). Der Fachbaum dieses Wehres wird durch eine scharfe Kante — etwa ein senkrecht gestelltes Flacheisen — genau wagerecht abgeglichen. Neben dem Wehre wird ein kleines Becken angelegt, das mit dem Oberwasser des Baches in Verbindung steht. Hier findet in einem Holzhäuschen ein meist durch ein Gewicht getriebenes Uhrwerk Platz. Dieses Uhrwerk bewegt eine senkrecht stehende Trommel; es geht in der Regel eine Woche lang, bevor es neu aufgezogen werden muß, und in der gleichen Zeit dreht sich die Trommel einmal um ihre Achse. Auf diese Trommel wird ein Papierbogen gespannt, dessen wagerechte Teilung die sieben Tage der Woche angibt, während die senkrechte Seite in mm eingeteilt ist. Außer diesem Apparat befindet sich in dem Holzgehäuse ein Schwimmer, bestehend aus einer Blechkapsel, die im Wasser des vorerwähnten Beckens schwimmt, und aus einer lotrechten Stange, in der senkrecht dazu ein Bleistift angebracht ist. Dieser Schwimmer, der zwischen vier Rollen geführt wird, geht mit dem wechselnden Wasserstande des Baches auf und nieder und zeichnet auf dem Papier der Trommel die Schwankungen in natürlichem Maßstabe auf. Die Höhenlage der Trommel ist so eingerichtet, daß der Nullpunkt des Maßes auf der Trommel mit der scharfen Kante des Wehres in Beziehung steht. Durch unmittelbare Messung der Dicke des Wasserstrahles über dem Wehr kann man das richtige Gehen des Bleistiftzeigers verfolgen. Die Länge der Schwimmerstange wie auch der Gang des Uhrwerks bedarf wegen der Wärmeschwankungen und sonstiger Witterungseinflüsse einer steten Aufsicht und gegebenenfalls der Berichtigung. Starke Wellenbewegungen sind vom Schwimmer fernzuhalten. Deswegen wird das Instrumentenhäuschen gegen den offenen Bachlauf durch

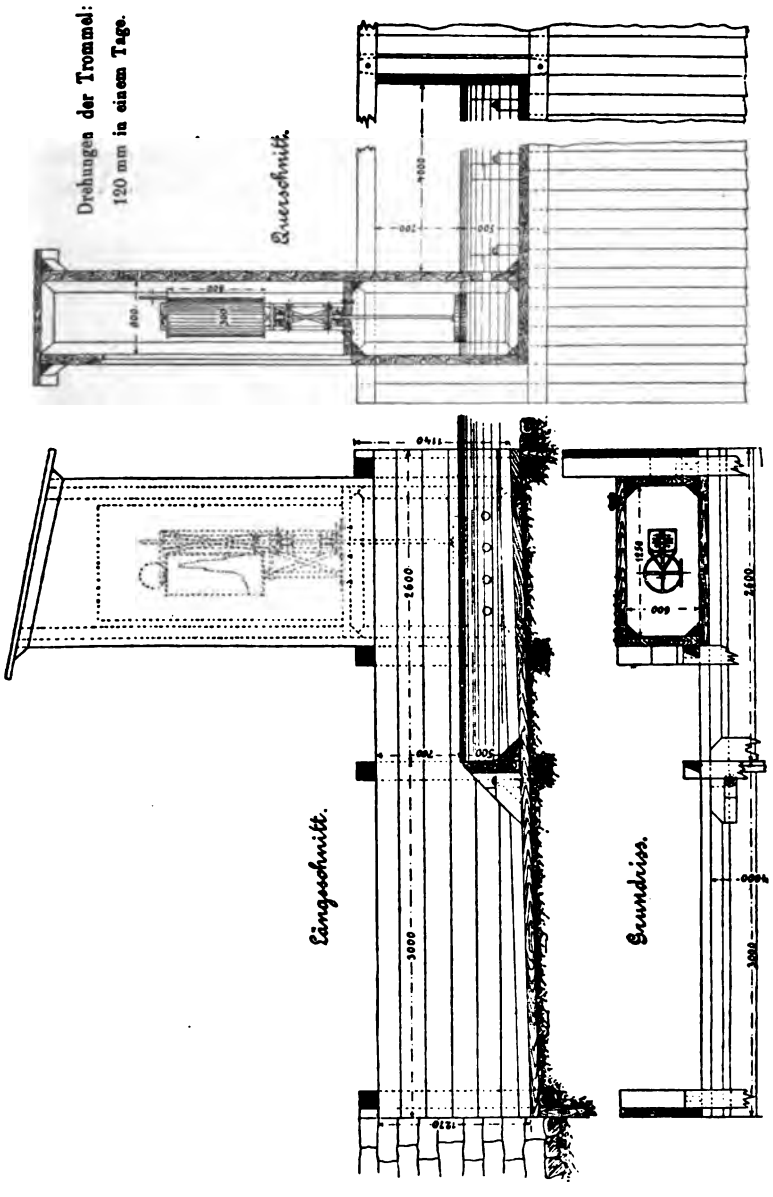


Abb. 16. Selbstaufzeichnende Meßvorrichtung zur Bestimmung der Wasserabflußmengen an einem Wehrüberlauf. Nach Intze, Bessere Ausnutzung der Gewässer und Wasserkräfte.

eine mit Löchern versehene Bohlwand abgeschlossen. Bei der täglich stattfindenden Revision der Meßanlage werden die Temperaturen aufgezeichnet, wenn hierfür nicht auch ein selbstschreibendes Instrument

angebracht wird. Die Seitenwände des Wehres werden zweckmäßig parallel hergestellt.

Über eine Meßeinrichtung mit massivem Wehr und Meßhäuschen s. die Abb. 17, 18 und 19[1]).

Über solch ein Wehr geht die gesamte Abflußmenge des Baches mit Ausnahme des Grundwassers, das sich der Messung entzieht. Um seit-

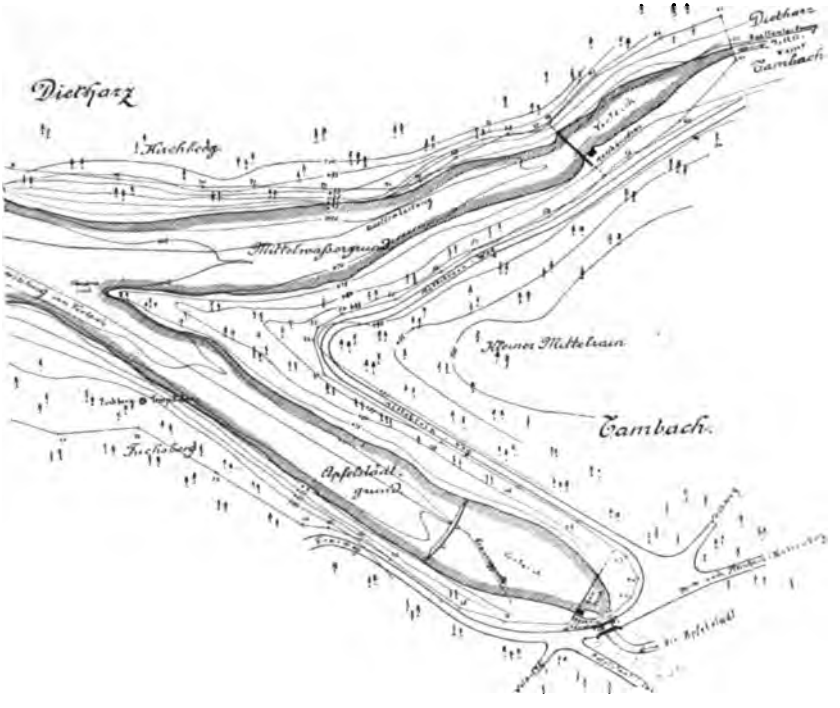


Abb. 17. Lageplan der Meßeinrichtungen an den Einlaufstellen zum Gothaer Sammelbecken.

liche Umströmungen zu vermeiden, empfiehlt sich ein dichter Abschluß an den beiden Uferseiten, der durch Tonpackungen und Spundwände erzielt werden kann. Nach der jeweiligen Überlaufhöhe berechnet sich dann die sekundliche Abflußmenge Q nach der Formel

$$Q = \frac{2}{3} \mu \cdot b \cdot h^{\frac{3}{2}} \sqrt{2g},$$

worin:

1) Die Gothaer Talsperre bei Tambach. Gotha 1906.

b die Breite des Wehres, bei kleineren Bächen 4 bis 5 m,
h die Strahldicke (s. Abb. 20),
$g = 9{,}81$ ist.

μ ist der Abflußkoeffizient. Berücksichtigt man die Geschwindigkeit v mit der das Wasser am Überfall ankommt, so ist mit ausreichender Genauigkeit

Abb. 18. Massives Meßwehr am Einlauf zum Gothaer Sammelbecken. Die Mauer hat 3 Überfälle in verschiedener Höhenlage von 1,4 und 12 m Breite, die mit stählernen scharfen Überlaufkanten versehen sind.

$$Q = \frac{2}{3}\mu \cdot b\sqrt{2g}\left(h + \frac{v^2}{2g}\right)^{\frac{3}{2}}.$$

Jedoch empfiehlt es sich mehr, diesem Einfluß in der Wahl von μ Rechnung zu tragen. Vorbedingung für ein genaues Ergebnis der Messungen ist ein zutreffender Wert dieses Koeffizienten, der, wie es scheint, bei demselben Wehre kein gleichbleibender ist, sondern von der Überlaufhöhe abhängt. Hansen[1]) fand bei Versuchen an einem 1082 mm breiten Überfallwehr folgende Werte:

1) Z. d. Ver. deutsch. Ing. 1892.

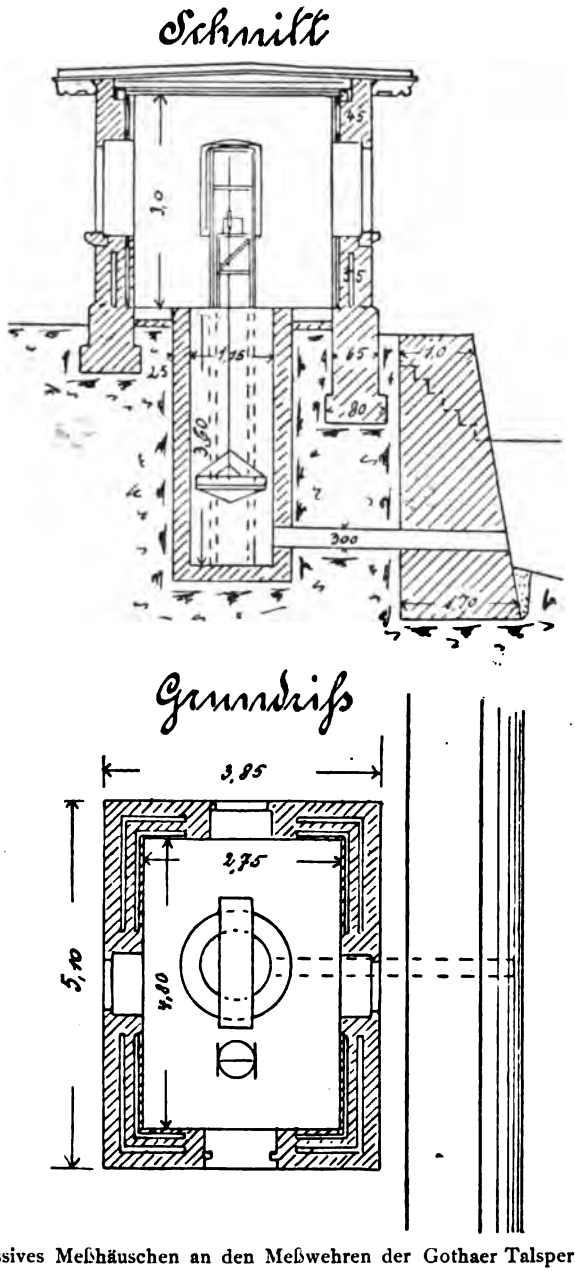


Abb. 19. Massives Meßhäuschen an den Meßwehren der Gothaer Talsperre. Die Meßeinrichtung ist wie die zu Abb. 16 beschriebene. Die selbsttätige Wasserstandsaufzeichnung wird elektrisch nach dem Wärterhaus an der Talsperre übertragen.

h in mm	$^2/_3\,\mu$	h in mm	$^2/_3\,\mu$
51,4	0,4100	220	0,4272
80	0,4147	240	0,4295
100	0,4161	260	0,4319
120	0,4176	280	0,4344
140	0,4192	300	0,4371
160	0,4210	320	0,4399
180	0,4229	340	0,4428
200	0,4250	360	0,4459

Dabei wird man auch beachten müssen, daß in der Entfernung von einigen Metern oberhalb des Wehres eine größere Wasserstandshöhe vorhanden ist und nach der scharfen Überlaufkante eine leichte Absenkung stattfindet (Abb. 20). Man kann für gewöhnliche Messungen den Wert μ zu etwa 0,63 annehmen. Bei Messungen an der Wupper, bei denen die über das Wehr geflossene Wassermenge in eine nebenliegende zu diesem Zweck eigens eingerichtete Grube geleitet wurde,

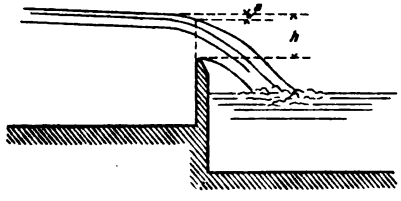


Abb. 20. Absenkung des Wasserstandes oberhalb eines Überlaufwehres.
Für die Berechnung maßgebend ist h.

konnte man die Abflußmenge unmittelbar feststellen und fand durch Vergleichsrechnungen, daß die gemessene Überfallwassermenge etwa um 2/3 v. H. größer war als die mit $\mu = 0{,}63$ berechnete. Mit Rücksicht auf die vorhin erwähnten Sickerungen am Wehr glaubt man nach diesen Beobachtungen für vollkommenen Wasserstand d. h. dort, wo kein Fließgefälle am Wehr vorhanden ist, den Koeffizienten $\mu = 0{,}78$ in die Rechnung einführen zu dürfen[1]). Bei den meist in Mauerwerk hergestellten und mit Abrundung versehenen Überfällen der Talsperren pflegt man mit $\mu = 0{,}75$ zu rechnen.

Bei der weitgreifenden Bedeutung, die eine richtige Ermittlung der Abflußmengen für die Projektierung von Talsperren und Wasserkraftanlagen hat, empfiehlt es sich, wo angängig, bei umfangreichen Messungen

1) »Die Talsperre« 1903.

den Wert von μ im Einzelfalle zu bestimmen. Dies kann geschehen, indem man gleichzeitig mit den Wehrmessungen in einer regelmäßig gestalteten Flußstrecke in der Nähe des Wehres Geschwindigkeitsmessungen mittels eines hydrometrischen Flügels ausführt. Hat man nach letzterem Verfahren bei Beharrungszuständen die Abflußmenge Q bestimmt und im selben Zeitpunkt die Strahldicke am Wehrpegel abgelesen, so hat man für die Berechnung des Abflußkoeffizienten den Ausdruck $\mu = \frac{3Q}{2b \cdot h \cdot \sqrt{2gh}}$. Es wird nötig sein, diese Vergleichsmessungen bei verschiedenen Wasserständen zu wiederholen, und man wird daraus sicherlich eine weitere Gewähr für die Richtigkeit der Ergebnisse folgern dürfen.

Für die Abflußmengenberechnungen wird es im allgemeinen genügen, die mittlere Strahldicke für eine Stunde in die Rechnung einzuführen und danach die stündliche Abflußmenge zu bestimmen:

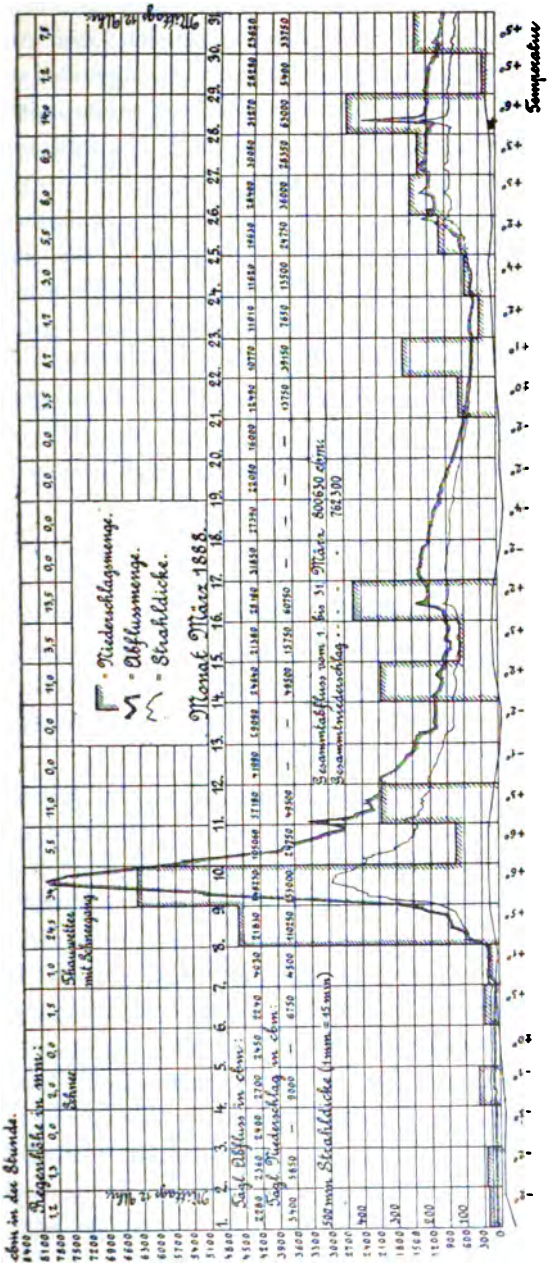
$$Q = \frac{2}{3}\mu \cdot b \cdot h^{\frac{3}{2}}\sqrt{2g} \cdot 3600.$$

Zur Vereinfachung der Aufrechnungen leistet auch hier eine Wassermengenkurve gute Dienste (Abb. 15). Die Ergebnisse der Niederschlags- und Abflußmengenberechnungen werden dann graphisch übersichtlich zusammengestellt (Abb. 21) oder tabellarisch, wofür Tabelle 8 und 9 einen Anhalt bieten werden.

Wo an größeren Flüssen der Einbau eines Wehres nicht angängig ist und Schwimmermessungen nicht genau genug erscheinen, da wird man lediglich auf Geschwindigkeitsmessungen des fließenden Wassers mittels Flügel und elektrischem Zählapparat angewiesen sein. In kleineren Flüssen genügt es, die Abflußgeschwindigkeit in der Strommitte und an den beiden Ufern und zwar in den oberen Wasserschichten und nahe der Sohle zu messen und daraus das Mittel zu nehmen. Bei größeren Flußläufen teilt man den Querschnitt nach der Senkrechten in Felder von etwa 5 m Breite und nach der Wagerechten in Abschnitte von 0,5 m Höhe, mißt in jedem Feld f die Geschwindigkeit v und erhält $Q = \Sigma f \cdot v$[1]).

Zur Messung der Wassergeschwindigkeiten in kleinen Gewässern mit Tiefen von weniger als 20 bis 30 cm sind die Flügel üblicher Konstruk-

1) Eingehende Darstellung dieses Verfahrens Handb. d. Ing.-Wiss. III. Teil, I. Bd. IV. Aufl.



Nach Intze, Bessere Ausnutzung der Gewässer und Wasserkräfte.

Abb. 21. Darstellung der Messungsergebnisse der Strahldicke am Wehrüberlauf, der Niederschlags- und Abflußmengen und Temperaturen.

tion meist nicht brauchbar, ebenso auch zu Messungen hart an der Flußsohle oder Uferwandung. Für solche Fälle haben sich kleine mit einem Schutzring ausgestattete Flügel, wie sie bei den Messungen des schweizerischen hydrometrischen Bureaus in Gebirgsbächen angewandt wurden, bewährt. Die Gesamthöhe der Flügel beträgt 60 bis 76 mm, der Schaufelraddurchmesser 42 bzw. 55 mm[1]).

Zur Beurteilung der erreichbaren Genauigkeit dieser Ermittlungen mögen folgende Mitteilungen gemacht werden. Bei den hydrographischen Messungen in Ungarn zeigte sich in einer großen Anzahl von Fällen — bei Benutzung hydrometrischer Flügel —, daß die Abweichungen der Ergebnisse bei steigendem oder fallendem Wasser von jenen der Beharrungswasserstände etwa 5 v. H. betrugen. Diese Abweichung wird nicht lediglich der Ungenauigkeit der Apparate zugeschrieben, sondern kann auch durch bei verschiedenen Wasserständen verschiedenartig zur Wirkung kommende Gefällverhältnisse verursacht werden. An den Vereinigungsstellen von 2 Wasserläufen schwankten die Messungsergebnisse im ungeteilten und im geteilten Flußlaufe um etwa 4 v. H. Beim Wasserzufluß zu Behältern mit bekanntem Inhalt (Staubecken, Schleuse) waren die zu den Behältern zugeflossenen und im Flusse oberhalb gemessenen Wassermengen um 1,3 bis 14 v. H. verschieden. Der letztere starke Prozentsatz wurde an Gebirgsbächen mit großer Geschiebeführung festgestellt[2]).

Wenn heute ein Tal nach seinen orographischen, Niederschlags- und geologischen Verhältnissen zur Anlage eines Sammelbeckens oder ein Wasserlauf nach seiner Gefällsgestaltung für den Ausbau eines Kraftwerkes geeignet erscheint, so entsteht eine lebhafte Frage nach dem im Tale und im Bachlaufe vorhandenen Wasserabfluß. Die Entwicklung der Dinge, der Drang nach der Verwirklichung des Gedankens überholt dann meist die vorbeschriebene stille Arbeit der Messung und des Forschers. Es darf als Tatsache bezeichnet werden, daß wohl keine der neuzeitlichen großen Wasserkraftanlagen und Talsperren im Gebirge auf Grund langjähriger Abflußmengenmessungen geplant wurde. Schätzungen und überschlägliche Ermittlungen an der Hand allgemeiner Anhaltepunkte haben meist das Fehlende ersetzen müssen. Bei ausreichendem praktischen Überblick und mit Zuhilfenahme von Abflußgesetzen,

1) Schweiz. Bauztg. 6. 10. 06.
2) Österreich. Wochensch. f. d. öff. Baud. 1906, S. 617.

soweit sie aus unmittelbaren Beobachtungen abgeleitet werden konnten, führt dies Verfahren zu hinlänglicher Genauigkeit und wird auch für die nächste Zukunft — bis unmittelbare Messungen an allen Wasserläufen vorliegen — der gangbare Weg sein müssen. Es ist dann Sache des Ingenieurs, sich im Einzelfalle aus der Niederschlagsmenge des abgegrenzten, für die Kraftausnutzung in Frage kommenden Gebietes die Abflußmenge zu errechnen.

Dies kann auf mehrfache Weise geschehen. Erforderlich ist aber, daß man die Niederschlagshöhen nicht nur in der Jahressumme, sondern auch in den einzelnen Monaten kennt. Von dem Niederschlag gelangt ein Teil oberirdisch zum Abfluß, ein anderer Teil geht durch Verdunstung, Versickerung und Aufsaugung des Pflanzenwuchses für die Kraftnutzung verloren. Über den offenen Abfluß an den Wassergerinnen haben sich auf Grund von Messungen in einzelnen Niederschlagsgebieten Erfahrungssätze über den Abfluß von der Flächeneinheit des Niederschlagsgebietes und in Hundertsteln des Niederschlags gebildet, die innerhalb gewisser Grenzen allgemeingültige Bedeutung haben. Dabei darf man allerdings nicht außer acht lassen, daß der Wasserabfluß in kleinen Gebirgsbezirken mit steilen Abhängen und undurchlässigem Untergrunde sich wesentlich schroffer gestaltet als im Flachlande. Die Höhe über Meereslage und die Bodenbedeckung sind hierauf auch nicht ohne Einfluß. Moorflächen und natürliche Wasserbehälter im Niederschlagsgebiet wirken ausgleichend. Man wird daher die in dem einen Gebirgstale aus Messungen abgeleiteten Sätze immer nur auf ein anderes Tal mit ähnlicher Gestaltung der Oberfläche und des Untergrundes anwenden dürfen. Immerhin geben die bisher in verschiedenen Landesteilen gesammelten Messungsergebnisse für überschlägliche Berechnungen einen wertvollen Anhalt, vorbehaltlich späterer genauer Ermittlungen. Daher möge die nachstehend mitgeteilte Tabelle 5 hierfür einige Grundlage bieten. Diese Tabelle ist vom Verfasser zusammengestellt aus den Ergebnissen unmittelbarer Messungen bei neueren Talsperren- und Wasserkraftanlagen. Weiteres über die in den Niederschlagsgebieten verschiedenster Größe in deutschen Mittelgebirgen gemessenen Abflußmengen s. auch in Abschn. Deutschland.

Einige Beispiele aus Vorarbeiten zu Talsperren- und Wasserkraftanlagen mögen diese Art der Ermittlungen näher erläutern.

Bei Aufstellung des ersten Entwurfs für die Sengbachtalsperre bei

Tabelle 5. Messungsergebnisse von

Meßstelle	Größe des Niederschlagsgebietes in Quadratkilometern	Mittlere Höhe des Gebirges üb. d. Meer in Metern	Mittlere Niederschlagshöhe jährlich in Millimetern	Mittlere Abflußmenge jährlich in Mill. cbm	Mittlerer Abfluß in Hundertsteln der Niederschlagsmenge		
					Winter (Oktober bis März)	Sommer (April bis September)	im Jahre
Eschbachtal bei Remscheid (Wuppergebiet)	4,5	300	1267	3,6	90,3	41,1 11,0[1])	67,4
					95,0	45,0	70,0
					(Mittel 1889 bis 1904)		
Sengbachtal bei Solingen (Wuppergebiet)	11,8	200	1000	8,45	96,0	46,0	71,0
Ahlfeldweiher (Vogesen) . .	5,2	850	2610	11,14	90,0 (Oktober bis Mai)	50—60 (4 Sommermonate)	80,0
Langetal bei Nordhausen (Harz)	5,7	500	600	1,89	75,0	34,0	56,0
Tal der Urft (Eifel)	375,0	300—400	890	172,0	72,0	30,0	51,0
Tal des Queis (Schlesien) .	303,0	300—900	um 1100	229,0	Die durchschnittl. Abflußhöhe in den Jahren 1901 bis 1903. war 783 mm.		
Tal der Görlitzer Neiße (Böhmen)	103,0	400—700	900—1800	65,1	—	—	—
Harzdorfer Bach (Böhmen).	15,9	400—800	900—1800	8,1	—	—	—
Tal der Öster (Ruhrgebiet).	13,1	360	—	10,5	—	—	—

1) Im Durchschnitt der 6 Monate Mai bis Oktober 1904. 2) Monatsmittel. Der geringste Tages-

Niederschlagshöhen und Wasserabflußmengen.

Sommerabfluß in Hundertsteln des Jahresabflusses		Gesamtjahresabflußmenge vom Quadratkilometer in Mill. cbm		Sekundl. Abfluß vom Quadratkilometer			Bemerkungen
				größter	geringster	mittlerer	
im Durchschnitt	geringster	größte	geringste	s/l			
20.0	5,0	0,970	0,607	650	0,2	25	Meßzeit 1888—96. Das Niederschlagsgebiet besteht aus geröllhalt. Lehm auf Tonschieferfels, zum Teil bewaldet.
34.0	19,0	0,862	0,630	232	2,0 (Monatl. Mittel)	23	Meßzeit 1898—1903. Die kleinste jährliche Abflußmenge ist etwa 83 v. H. der mittleren Jahresabflußmenge. — Niederschlagsgebiet beschaffen wie vor. — Der größte sekundl. Abfluß im Wuppergebiet ist zu 1 bis 1,2 cbm gemessen worden. Das Mittel beträgt 25 l, der Mindestabfluß 1 l/s/qkm (oberhalb Barmen bei etwa 210 qkm N.-G.).
22.0	14,0	2,18	2,11	1400	27 (Mittl. niedrigster Sommerabfluß Juni bis September)	68	Meßzeit 1889—91. Festgelagertes, felsiges Niederschlagsgebiet.
28.0	13,0 (Mai bis Oktober 1904)	0,33		—	—	—	N.-G.: undurchlässiger Lehm auf Fels, stark bewaldet. — Ergebnis des sehr trocknen Jahres 1904.
26.0	25,0	0,52	0,4	500	1,9[2])	12—16	Meßzeit 1901—02. Mittlere Jahresabflußmenge in längeren Jahren 180 Mill. cbm.
51.0	—	0,88	0,63	2600	5,4[3]) 0,7[4])	24	Meßzeit 1901—03. Bei dem H.-W. Juli 1897 betrug der Abfluß 96,4 v. H. der Niederschlagsmenge. — Steiler Abfall des Niederschlagsgebietes.
—	—	0,63		500	10,9[3]) 2,0[4])	20	Meßzeit 1902—03. Steil abfallende Hänge, besonders in den Seitentälern.
—	—	0,51		1260	5,0[3]) 2,5[4])	16,4	Meßzeit 1902—03.
—	—	0,88	0,74	—	1,6[3]) 0,3[4])	25,5	Meßzeit 1899—1900

abfluß ist etwa 1 l/sek./qkm. 3) Monatsmittel. 4) Tagesmittel.

Solingen lagen genaue Messungen der Abflußmengen aus dem Niederschlagsgebiet nicht vor und es wurden für ihre vorläufige Ermittlung die Feststellungen im Eschbachtale an der alten Talsperre der Stadt Remscheid benutzt, deren Niederschlagsgebiet geologisch und orogra-

Tabelle 6. Berechnung der Abflußmengen zur Sengbachtalsperre aus dem Abfluß des Niederschlagsgebietes der Remscheider Talsperre im Eschbachtale.

Vorläufige Ermittelungen für die Projektierungsarbeiten:

Größe des Niederschlagsgebietes im Eschbachtale 4,5 qkm } Verhältnis der Größen
» » » » Sengbachtale 11,8 » } 1 : 2,6.

Monat	Für ein trockenes Jahr (1892)		Für ein Jahr mit besonders trockenem Sommer (1893)		Bemerkungen
	Im Eschbachtale am Zufluß zur Remscheider Talsperre mittels Überfallwehr gemessene Abflußmenge	Als voraussichtlicher Zufluß zur Solinger Talsperre im Verhältnis der Größe der Niederschlagsgebiete berechnete Wassermenge	Im Eschbachtale am Zufluß zur Remscheider Talsperre mittels Überfallwehr gemessene Abflußmenge	Als voraussichtlicher Zufluß zur Solinger Talsperre im Verhältnis der Größe der Niederschlagsgebiete berechnete Wassermenge	
	cbm	cbm	cbm	cbm	
Januar	699 400	1 820 000	171 900	447 000	Die Niederschlagshöhe des Eschbachgebietes beträgt i. M. jährlich 1267 mm. Die Niederschlagshöhe im Sengbachtal war zur Zeit dieser Berechnung nicht bekannt. Sie ist später i. M. zu 1000 mm jährlich gemessen worden. Bei der Berechnung der Abflußmengen ist ein kleiner Zuschlag für den am Wehrüberfall nicht gemessenen Grundwasserstrom und für Wehrundichtigkeiten gemacht. Beschaffenheit des Niederschlagsgebietes s. Tabelle 5. Diese Berechnungen wurden im Jahre 1898 durchgeführt. Die Talsperre im Jahre 1900/02 erbaut. Näheres s. in des Verfassers Abhandlung: Das Wasser- und Elektrizitätswerk der Stadt Solingen. Zeitschrift für Bauwesen 1904.
Februar	516 800	1 339 000	1 213 800	3 162 000	
März	123 000	325 000	367 900	952 000	
April	107 000	281 000	37 100	101 000	
Mai	148 000	385 000	15 100	39 000	
Juni	60 500	161 000	14 000	39 000	
Juli	22 400	60 000	23 600	65 000	
August	24 300	65 000	16 200	47 000	
September	162 500	426 000	40 500	109 000	
Oktober	219 000	572 000	388 300	1 006 000	
November	243 200	624 000	614 000	1 591 000	
Dezember	669 500	1 742 000	417 100	1 084 000	
Zusammen im Jahre	2 995 600	7 800 000	3 320 000	8 642 000	

phisch sowie hinsichtlich der Niederschläge dem des Sengbachtales ähnlich ist. Dort hatten genaue Messungen während einer Reihe von Jahren stattgefunden, auf Grund deren man die wahrscheinlichen Zuflüsse in den in erster Linie in Betracht kommenden trockenen Jahren berechnete. Es konnte hiernach aus dem Größenverhältnis der Niederschlagsgebiete im Sengbachtal eine jährliche mittlere Abflußmenge von 8 bis 9 Mill. cbm ermittelt werden, wie aus der Tabelle 6 ersichtlich ist.

Bei den Voruntersuchungen über den Wasserhaushalt der Talsperre der Stadt Nordhausen benutzte der Verfasser das Verfahren, den vermutlichen Abfluß im Bache an der Absperrstelle aus dem prozentualen Verhältnis des Niederschlags und Abflusses zu berechnen. Die Stadt bezog aus diesem Niederschlagsgebiet schon seit etwa 3 Jahrzehnten ihre Trinkwasserversorgung, ohne daß genaue Messungen des Niederschlags und Abflusses vorhanden waren. Über die jährlichen Niederschlagshöhen und ihre Verteilung im Jahreslaufe gaben die Aufzeichnungen benachbarter Regenmeßstellen Aufschluß. Die Aufrechnungen

Tabelle 7. Berechnung der Abflußmengen aus dem Niederschlagsgebiet der Nordhäuser Talsperre im Langentale bei Neustadt u. H. (Harz).

Vorläufige Ermittlung für die Projektierungsarbeiten auf Grund angenommener Abflußverhältnisse.

Monat	Für ein Jahr (1884) mit sehr geringer Niederschlagshöhe (593 mm)			Für ein Jahr mit mittlerer Niederschlagshöhe (900 mm)			Bemerkungen
	Niederschlagsmenge cbm	angenommener Abfluß-koeffizient v. H.	berechnete Abflußmenge cbm	Niederschlagsmenge cbm	angenommener Abfluß-koeffizient v. H.	berechnete Abflußmenge cbm	
Januar	120 000	90	108 000	197 000	90	177 000	Beschaffenheit des Niederschlagsgebietes s. Tab. 5. Bei der Ermittelung des Stauinhaltes der Talsperre wurde zur Sicherheit nur ein Abfluß von 180000 cbm während der 6 Sommermonate April – September angenommen. Diese Berechnungen wurden im Sommer 1903 durchgeführt, die Talsperre in den Jahren 1904/05 erbaut.
Februar	216 000	90	194 000	225 000	90	202 000	
März	210 000	90	189 000	306 000	90	275 000	
April	156 000	30	47 000	204 000	10	20 000	
Mai	498 000	30	149 000	391 000	10	39 000	
Juni	282 000	30	85 000	583 000	10	58 000	
Juli	348 000	30	104 000	715 000	10	72 000	
August	384 000	30	105 000	562 000	10	56 000	
September	228 000	30	68 000	459 000	10	46 000	
Oktober	408 000	90	367 000	422 000	90	379 000	
November	342 000	90	308 000	628 000	90	565 000	
Dezember	366 000	90	329 000	708 000	90	637 000	
Zusammen im Jahre	3 558 000		2 053 000	5 400 000		2 526 000	

erfolgten für 1 Jahr mit außergewöhnlich geringem Niederschlag und für 1 Jahr mit etwa mittlerer Regenhöhe (s. Tab. 7). Für die ungünstig getroffenen Annahmen der Abflußverhältnisse dienten auch in diesem Falle die langjährigen Messungen an der Remscheider Talsperre zum Anhalt[1]). Die Niederschlagsgebiete sind der Größe nach nicht wesentlich verschieden und weisen auch in ihrer geologischen und orographischen Beschaffenheit manche Ähnlichkeit auf. Bei der Voruntersuchung wurde

(Fortsetz. S. 67.)

Tabelle 8.

Messungen der Regenhöhen und Abflußmengen im Sengbachtale (Wuppergebiet) während der Jahre 1898 bis 1903.

Größe des Niederschlagsgebietes: 11,8 qkm.

Jahr und Monat	Regenhöhe mm	Niederschlagsmenge cbm	Abflußmenge cbm	Jahr und Monat	Regenhöhe mm	Niederschlagsmenge cbm	Abflußmenge cbm
1898				**1900**			
Januar . . .	—	—	558 056	Januar . . .	165,5	1 953 754	2 174 891
Februar . .	100,4	1 184 720	2 193 781	Februar . .	71,0	814 920	1 086 589
März	67,9	801 220	1 660 955	März	20,2	237 180	396 468
April	57,4	677 320	562 005	April	54,2	638 420	383 644
Mai	151,9	1 787 538	1 264 064	Mai	62,2	723 960	295 394
Juni	63,4	748 120	278 815	Juni	99,8	1 182 640	104 996
Juli	132,0	1 457 660	307 079	Juli	117,8	1 383 040	632 563
August . . .	77,4	916 120	340 089	August . . .	112,8	1 329 340	351 666
September .	24,1	656 080	87 677	September .	23,3	276 940	128 326
Oktober . .	65,8	777 476	113 572	Oktober . .	80,5	949 840	201 804
November .	32,8	387 040	118 812	November .	54,6	644 300	586 559
Dezember . .	114,0	1 310 180	1 106 245	Dezember . .	119,2	1 413 420	1 172 763
Zusammen			8 591 150	Zusammen	981,1	11 547 754	7 515 663
1899				**1901**			
Januar . . .	132,4	1 552 320	1 759 733	Januar . . .	58,2	677 202	794 605
Februar . .	38,0	448 400	467 952	Februar . .	49,0	575 000	554 766
März	67,3	794 580	463 423	März	104,3	1 330 740	1 862 409
April	164,5	1 952 200	1 629 288	April	90,8	1 071 800	1 041 822
Mai	107,1	1 143 780	771 326	Mai	29,5	368 100	187 248
Juni	65,0	767 000	286 180	Juni	47,3	558 140	111 857
Juli	109,9	1 296 820	864 045	Juli	21,5	254 880	63 047
August . . .	19,7	222 440	102 452	August . . .	102,5	1 209 736	64 196
September .	143,5	1 694 208	168 541	September .	111,3	1 323 340	99 877
Oktober . .	39,7	468 814	213 984	Oktober . .	125,5	1 480 900	748 133
November .	48,7	585 280	198 290	November . .	144,5	1 702 886	1 476 456
Dezember . .	64,6	782 280	507 101	Dezember .	127,2	1 497 020	1 331 944
Zusammen	1000,4	11 708 122	7 432 315	Zusammen	1011,6	12 049 744	8 336 360

1) Borchardt, Die Remscheider Stauweiheranlage.

Jahr und Monat	Regenhöhe mm	Niederschlagsmenge cbm	Abflußmenge cbm	Jahr und Monat	Regenhöhe mm	Niederschlagsmenge cbm	Abflußmenge cbm
1902				**1903**			
Januar . . .	78,8	929 610	1 405 097	Januar . . .	89,7	1 077 240	1 181 517
Februar. . .	44,8	528 640	593 267	Februar . .	53,9	646 800	973 928
März	79,5	954 960	895 401	März	53,2	638 520	723 388
April	52,8	633 960	382 525	April	113,6	1 363 200	1 298 419
Mai	112,2	1 347 360	754 885	Mai	68,8	825 600	702 173
Juni	131,8	1 581 600	717 321	Juni	56,4	676 800	188 108
Juli	79,1	949 680	179 511	Juli	154,8	1 857 840	412 493
August . . .	95,1	1 141 200	314 403	August . . .	110,7	1 328 400	938 069
September .	36,6	439 200	655 610	September .	98,6	1 183 800	562 299
Oktober . .	107,6	1 291 200	806 486	Oktober . .	114,9	1 378 800	1 021 564
November. .	32,4	388 800	454 623	November .	124,4	1 493 760	1 336 716
Dezember. .	113,0	1 356 000	1 525 372	Dezember. .	23,8	285 600	833 147
Zusammen	963,7	11 542 210	8 684 501	Zusammen	1062,8	12 756 360	10 171 751

Bem. Die Regen- und Abflußmengen wurden etwa 300 m unterhalb der Sperrmauer in einer Höhe von rd. 105 N.N. gemessen, während die mittlere Höhe des Niederschlagsgebietes rd. 200 m N.N. ist.

Nach vorstehenden Zahlen ergibt sich aus der sechsjährigen Beobachtungszeit 1898—1903 eine mittlere Regenhöhe von 1000 mm und eine Jahresabflußmenge von 8,45 Mill. cbm. Die durchschnittliche Abflußhöhe im Jahre betrug 710 mm; von der jährlichen Regenhöhe entfallen somit 1000—710 = 290 mm auf Verdunstung und Versickerung. Auf die Fläche als Einheit bezogen war der Jahresabfluß im Durchschnitt 710000 cbm/qkm des Niederschlagsgebietes, im trockensten Jahre (1899) 630000 cbm, im nassen Jahre (1903) 862000 cbm. Die geringste monatliche Abflußmenge von 1 qkm betrug 5340 cbm (Juli 1901) und die größte im Februar 1898 186000 cbm. Dauraus berechnet sich für die trockenste Zeit im Monatsdurchschnitt ein sekundlicher Abfluß von 2 l/qkm und im nassesten Monat 72 l/qkm, während das Mittel der ganzen Beobachtungszeit 23 l/qkm beträgt. Die geringste bisherige Abflußmenge in 24 Stunden betrug 2000 cbm, die größte 211000 cbm vom ganzen Niederschlagsgebiet.

Bemerkenswert ist die Erscheinung, daß fast in sämtlichen Beobachtungsjahren die Abflußmenge in den Monaten Januar, Februar und März die Niederschlagsmenge übersteigt. Es zeigt sich hier ein natürlicher Ausgleich im Wasserhaushalte, den der im Vorwinter fallende und gegen Frühjahr hin zum Schmelzen gelangende Schnee herbeiführt.

Tabelle 9. Niederschlagshöhen und Abflußmengen im Langen Tale bei Nordhausen (Harz).

Größe des Niederschlagsgebietes: 5,7 qkm.

Abflußjahr 1903/04 Monat	Niederschlagshöhen im Langen Tale bei rund 400 m Meereshöhe mm	Abflußmengen in Tausenden cbm	Abflußmengen in Hundertsteln der Niederschlagsmengen		Niederschlagshöhen	Abflußmengen in Tausenden cbm	Abflußmengen in Hundertsteln der Niederschlagsmengen	Bemerkungen
Oktober . .	78,8	137,2	130,5		47,1	27,8	10,4	Der Sommer 1904 zeichnete sich durch ungewöhnliche, lang andauernde Trockenheit aus. Das Niederschlagsgebiet ist stark bewaldet.
November .	59,8	284,4	52,6		123,3	227,4	32,3	
Dezember. .	11,5	226,8	345,9		56,1	206,7	64,6	
Januar . . .	38,3	134,8	61,7		73,8	199,4	47,4	
Februar . .	94,2	289,6	12,2		52,3	435,2	146,0	
März	29,7	260,6	153,9		72,4	804,2	194,9	
April. . . .	39,5	337,6	149,9		87,8	629,7	125,8	
Mai	72,7	104,2	25,1		33,7	147,8	76,9	
Juni . . .	60,9	61,0	17,5		83,6	57,9	12,2	
Juli	25,9	17,1	11,6		98,2	56,6	10,1	
August . . .	27,7	7,6	4,8		79,8	49,1	10,8	
September .	57,7	25,5	7,8		133,3	152,9	19,5	
Abflußjahr 1903/04	596,7	1886,4		1904/05	941,4	2994,7		

Es war somit im Abflußjahr	1903/04	1904/05
die Jahresniederschlagshöhe	596,7 mm	941,4 mm
die Jahresniederschlagsmenge	3401000 cbm	5366000 cbm
die Jahresabflußmenge	1886400 cbm	2994700 cbm
der Abflußkoeffizient	0,56.	0,58

nach Berechnungen aus dem Meßtischblatt seine Größe zu 6 qkm eingesetzt, während eine spätere genaue Aufnahme 5,7 qkm ergab.

Zu gleicher Zeit mit diesen ersten Ermittelungen wurden in Solingen wie in Nordhausen an Überfallwehren mit selbsttätigen Pegeln, die in den Bach in der Nähe der zukünftigen Sperrmauer nach der Art, wie oben beschrieben, eingebaut wurden, unmittelbare Messungen des Wasserabflusses vorgenommen, deren Ergebnis bis zum Beginn des Baues an den Becken in den vorstehenden Tabellen 8 und 9 zusammengestellt ist. Man ersieht daraus, daß die Berechnungen durch die Meßergebnisse im ganzen bestätigt wurden.

Um eine allgemeine Kenntnis vom Wasservorrat in einem bisher noch nicht untersuchten Niederschlagsgebiet zu gewinnen, wird man die Angaben in Tabelle 5 über die Gesamtjahresabflußmenge und die sekundliche Abflußmenge vom Quadratkilometer beispielsweise wie folgt benutzen können. Wenn man daraus ersieht, daß der größte Jahresabfluß 0,862 Mill. cbm/qkm und der geringste Abfluß 0,630 Mill. cbm/qkm bei 11,8 qkm Niederschlagsgebiet beträgt, so wird man nicht fehl gehen, wenn man für ein annähernd gleich großes Gebiet von z. B. 10 qkm mit ähnlichen Niederschlags- und Geländeverhältnissen für eine rohe Abschätzung den Jahresabfluß zu $0{,}862 \cdot 10 = 8{,}62$ Mill. cbm bzw. 6,3 Mill. cbm. annimmt.

Einen neuen praktisch brauchbaren Aufschluß über die Beziehung zwischen Niederschlag und Abfluß hat Intze[1]) aus seinen zahlreichen Messungen bei Vorarbeiten zu Talsperren hergeleitet. Er fand, daß man die Jahresabflußmenge eines Gebietes erhält, wenn man die Flächengröße mit einer Abflußhöhe multipliziert, die gleich der mittleren Regenhöhe des Gebietes vermindert um 300 bis 350 mm ist. Diese letztere Zahl bezeichnet Intze als Verlusthöhe und glaubt nach seinen Wahrnehmungen schließen zu dürfen, daß diese Verlusthöhe in deutschen Gebirgsgegenden nur innerhalb sehr enger Grenzen schwankt. Wo wesentlich größere Verlusthöhen als 300 bis 350 mm vorhanden sind, darf man besondere Ursachen (klüftiges Gebirge) annehmen. Nach der Ansicht von Keller treffen diese Zahlen nur zu für Gebiete mit sehr großem Abflußvermögen, einerlei, ob diese im regenreichen bergisch-

1) Talsperrenanlagen in Rheinland und Westfalen, Schlesien und Böhmen. Weltausstellung St. Louis 1904.

Tabelle 10.

Nr.	Flußgebiet	Gebietsfläche qkm	Zahl der Jahre	Mittlere Niederschlagshöhe (x) mm	Mittlere Abflußhöhe (y) mm	Mittlere Verdunstungshöhe (z) mm	Abflußverhältnis (^{v}y) v. H.
	Flachlandsgebiete.						
1	Obere Netze (oberhalb Küddowmdg.)	6 370	30	460	94	366	20,5
2	Ossa (Dombrowken)	1 440	5	488	97	391	19,9
3	Warthe (Landsberg)	53 700	10	512	130	382	25,4
4	Drewenz (Mdg.)	5 510	10	527	151	376	28,6
5	Untere Netze (Mdg.)	17 240	30	535	182	353	34,0
6	Masurische Seen (Jeglinner Kanal, Angerburg)	3 150	40	543	137	406	25,2
7	Schwarzwasser (Mdg.)	2 200	10	549	198	351	36,1
8	Alle (Mdg.)	7 130	25	550	180	370	32,8
9	Havel (Rathenow)	19 790	4	558	108	450	19,4
10	Brahe (Bromberg)	4 530	18	560	181	379	32,3
11	Ferse (Mdg.)	1 630	10	564	139	425	24,6
12	Küddow (Mdg.)	4 740	10	587	232	355	39,6
13	Ilmenau (Bardowiek)	1 800	10	593	193	400	32,6[1]
14	Ihna (Gollnow)	2 040	4	596	221	375	37,1
15	Drage (Mdg.)	3 200	20	628	224	404	35,7
16	Persante (Mdg.)	3 140	8	685	264	421	38,5
17	Rega (Mdg.)	2 670	4	698	282	416	40,4
18	Stolpe (Mdg.)	1 650	4	712	284	428	39,9
	Gemischte Gebiete.						
1	Mittlere Oder (Pollenzig)	47 300	10	665	175	490	26,3
2	Aller (Mdg.)	15 600	10	669	226	443	33,7
3	Mittlere Weser (Hoya)	22 300	10	744	263	481	35,3
4	Mulde (Düben)	5 980	20	753	306	447	40,6
5	Emscher (Prosper)	714	9	788	403	385	51,1[2]
6	Lippe (Hamm)	2 160	16	820	388	432	47,3
	Gebirgsgebiete.						
1	Untere Saale (Trebnitz)	18 850	20	613	168	445	27,5
2	Main (Miltenberg)	20 840	12	657	187	470	28,5
3	Moldau (Prag)	26 970	15	681	177	504	26,0
4	Böhmische Elbe (Tetschen)	51 000	15	692	192	500	27,8
5	Eger (Laun)	5 010	5	696	214	482	30,8
6	Tauber (Mergentheim)	1 010	7	700	183	517	26,1
7	Jagst (Mdg.)	1 840	11	728	280	448	38,4
8	Werra (Mdg.)	5 500	10	730	289	441	39,6
9	Obere Weser (Münden)	12 460	10	749	257	492	34,3
10	Fulda (Münden)	6 960	10	760	231	529	30,4
11	Obere Elbe (Brandeis)	13 110	5	762	238	524	31,3
12	Mosel (Mdg.)	28 230	20	764	334	430	43,7
13	Saar (Mdg.)	7 420	10	765	331	434	43.2
14	Oker (Braunschweig)	1 080	10	790	243	547	30,8[3]

1) Die Werte x und y sind unsicher, wohl erheblich zu klein.

2) Bei Abzug des aus dem Ruhrgebiet zugeführten Wassers (54 mm) wird $y = 349$, $z = 439$, $^{v}y = 44{,}3$.

3) Der Wert y ist wahrscheinlich zu klein.

Nr.	Flußgebiet	Gebietsfläche qkm	Zahl der Jahre	Mittlere Niederschlagshöhe (x) mm	Mittlere Abflußhöhe (y) mm	Mittlere Verdunstungshöhe (z) mm	Abflußverhältnis (v_y) v. H.
15	Donau (oberh. Illermdg.)	5 380	5	793	310	483	39,1
16	Obere Oder (Kosel) . .	9 100	20	809	268	541	33,2[1])
17	Obere Saale (Remschütz)	2 130	25	813	364	449	44,7
18	Enz (Mdg.)	2 220	5	815	247	568	30,3[2])
19	Weißeritz (Dresden) . .	365	18	841	306	535	36,4
20	Kocher (Mdg.) . . .	1 990	11	833	309	524	37,2
21	Eder (Hemfurt)	1 430	25	838	353	485	42,1
22	Lachsbach (Schandau) .	270	5	914	433	481	47,5
23	Chemnitzbach (Alt-Chemnitz)	277	5	968	471	497	48,6
24	Beczwa (Wsetin)	505	6	971	482	489	49,7
25	Herzberger Teich (bei Goslar)	5,0	3	1 008	577	431	57,2
26	Wupper (Dahlhausen) . .	213	20	1 238	840	398	67,9
27	Eschbach (bei Remscheid)	4,5	18	1 251	854	397	68,3
	Alpenflußgebiete.						
1	Isar (Mdg.)	8 970	5	986	580	406	58,8
2	Donau (Obernzell) . . .	77 000	5	1 000	585	415	58,5
3	Lech (Mdg.)	4 130	5	1 169	780	389	66,7
4	Iller (Mdg.)	2 190	5	1 239	885	354	71,5
5	Inn (Innsbruck)	5 800	3	1 241	990	251	79,8[3])
6	Inn (Kufstein)	9 510	3	1 290	924	366	71,6[4])
7	Enns (Steyr)	6 140	10	1 450	900	550	62,1
8	Traun (Lambach) . .	2 770	25	1 729	1 123	606	64,9

märkischen Hügellande oder im Hochgebirge oder im regenarmen, aber sehr durchlässigen Flachlande der pommerschen Seenplatte liegen. Bei allen übrigen Flußgebieten meint Keller, ist die Verdunstungshöhe größer und nimmt langsam mit der Niederschlagshöhe ab. Nach seinen Ermittlungen schwanken die Maße der Landverdunstung im Jahresmittel bei den Flachlandsgebieten Mitteleuropas von rd. 350 bis äußerstenfalls 450 mm und betragen in den umfangreichen Gebirgsgebieten wohl nicht unter 430 und selten über 550 mm. In den Alpenflußgebieten mögen auf die Landverdunstung 350 bis 600 mm entfallen. Keller stützt sich dabei u. a. auf die Ergebnisse unmittelbarer anderweiter Messungen, die in der Tab. 10 zusammengestellt sind.[5])

1) Desgleichen. 2) Desgleichen.

3) Desgleichen. Wahrscheinlich ist $x = 1365$, $z = 375$, $v_y = 72{,}5$.

4) Desgleichen. Wahrscheinlich ist $x = 1359$, $z = 435$, $v_y = 68{,}0$.

5) H. Keller, Niederschlag, Abfluß und Verdunstung in Mitteleuropa. Jahrbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands. Herausgegeben von der Preuß. Landesanstalt für Gewässerkunde. Besondere Mitteilungen Bd. 1, Nr. 4. — Über entsprechende Untersuchungen in England Zentr. d. Bauverw. 1906, S. 672.

Tabelle 11. Abflußmengenmessungen im Fluß-

	Größe des Niederschlagsgebietes qkm	Niederschlagshöhe mm	Beschaffenheit des Niederschlagsgebietes	Abflußmengen in 1902				
				Juli	August	Septbr.	Oktbr.	Novbr.
Wiese oberhalb Todtnau	18,9	800 mm an der Wiesemündung (250 m über M.) bis 2500 mm am Feldberg (1267 m über M.)	Langgestreckte Höhenzüge mit tief eingeschnittenen engen Tälern. Starke Gefälle im oberen Gebiet; im unteren Teile 1,5—0,5 v. H. Höhe der Meßstellen 450—700 m über Meer.	1,358	1,425	0,962	2,383	1,073
Schönenbach bei Todtnau. . . .	18,3			0,889	1,161	0,756	1,898	1,121
Prägbach oberhalb Geschwend . .	22,2			1,930	1,319	0,947	2,708	1,089
Belchenwiese . .	40,3			1,459	1,621	1,354	3,712	2,090
Köhlgartenwiese .	25,0			1,023	1,035	0,787	1,551	1,256

Zum weiteren Anhalt für den Abflußvorgang in deutschen Mittelgebirgen sind in der Tab. 11 die Ergebnisse neuerer unmittelbarer Messungen an Überfallwehren und mit Schwimmern im Schwarzwald mitgeteilt. Einen Vergleich mit dem Wasserhaushalt im Flachlande ermöglicht die Tab. 12 über die Regen- und Abflußmengen in einigen Fluß- und Seengebieten Ostpreußens.

Ausgleich des Wasserabflusses.

Wenn zwar in dem nicht schiffbaren Mittellaufe der Flüsse noch Wasserkräfte in einer Größe, die für die praktische Ausnutzung Bedeutung hat, gewonnen werden können und wenn im Hochgebirge die kleinen Bäche durch das Schmelzwasser eine ziemlich gleichmäßige Wasserführung haben, so fehlen diese günstigen Umstände im Mittelgebirge, in der Zone der »Grünen Kohle«. Wie stark hier der Wechsel in der Wasserführung ist, kann man aus Tab. 5 erkennen. Hier kann nur Abhilfe durch künstlichen Ausgleich geschaffen werden. Nur wenige Bezirke in allen Ländern finden sich, wo natürliche Seen vorhanden sind. Die Schweiz, Amerika, Norwegen und Schweden sind mit einer Seenplatte bedeckt, die den Abflußvorgang gleichmäßiger gestalten; auch die

gebiet der Wiese (südl. Schwarzwald)[1]).

Millionen cbm

	1903							Bemerkungen
Dezbr.	Januar	Febr.	März	April	Mai	Juni	Jahr	
2,892	4,516	1,252	3,265	2,944	4,752	1,123	27,945	Das Beobachtungsjahr 1902 bis 1903 entsprach hinsichtlich der Nieder- und Mittelwasserstände nahezu dem 15jährigen Mittel der Jahre 1888—1903, die höheren Wasserstände blieben unter dem Mittel. Messung zum Teil mittels Schwimmer, zum Teil am Überfall. Aus 110 Einzelmessungen wurden Wassermengenkurven konstruiert für alle Pegelstände. Aus den zum Teil täglich mehrmals erfolgten Pegelablesungen ergaben sich dann die Wassermengen.
2,212	3,452	1,455	2,709	2,838	3,586	1,161	23,238	
3,773	6,131	0,953	3,513	3,243	3,831	0,890	30,327	
6,662	7,228	1,989	5,727	6,349	5,172	2,179	45,542	
3,676	4,235	1,486	2,979	3,100	3,224	1,324	25,676	

ost- und westpreußischen und pommerschen Seen sind hier zu erwähnen. Der Einfluß solcher Behälter kann bisweilen mit geringen Mitteln durch künstliche Aufstauung erhöht werden[2]). Ausgleichende Wirkung können auch Moore und Sümpfe ausüben, wie sie bisweilen selbst in hochbelegenen Gebirgsbezirken vorhanden sind. Solche Sümpfe finden sich, wie mehrfach im Harz, u. a. auch im Niederschlagsgebiet der Nordhauser Talsperre vor bei einer mittleren Höhe von etwa 500 N. N. Die Wasseransammlungen entstehen hier dadurch, daß das von den Hängen herunterkommende Wasser keinen Abzug hat, weil eine undurchlässige Schicht am Bachrande vorlagert. Die Sumpfflächen sind je etwa nur 100 bis 200 qm groß, ziehen zich aber in den engen waldbestandenen Seitentälern in langer Reihe entlang hin. Die Flächen sind moos- und schilfbestanden, und ohne daß eigentliche Wasserstellen sichtbar sind, ist der Untergrund stark naß. Das war selbst in dem außergewöhnlich trocknen Sommer 1904 der Fall, wo fast alle Quellen versiegten. Die Verdunstung in dem Waldesschatten ist gering, und es

1) Beiträge zur Hydrographie des Großherzogtums Baden. Elftes Heft.

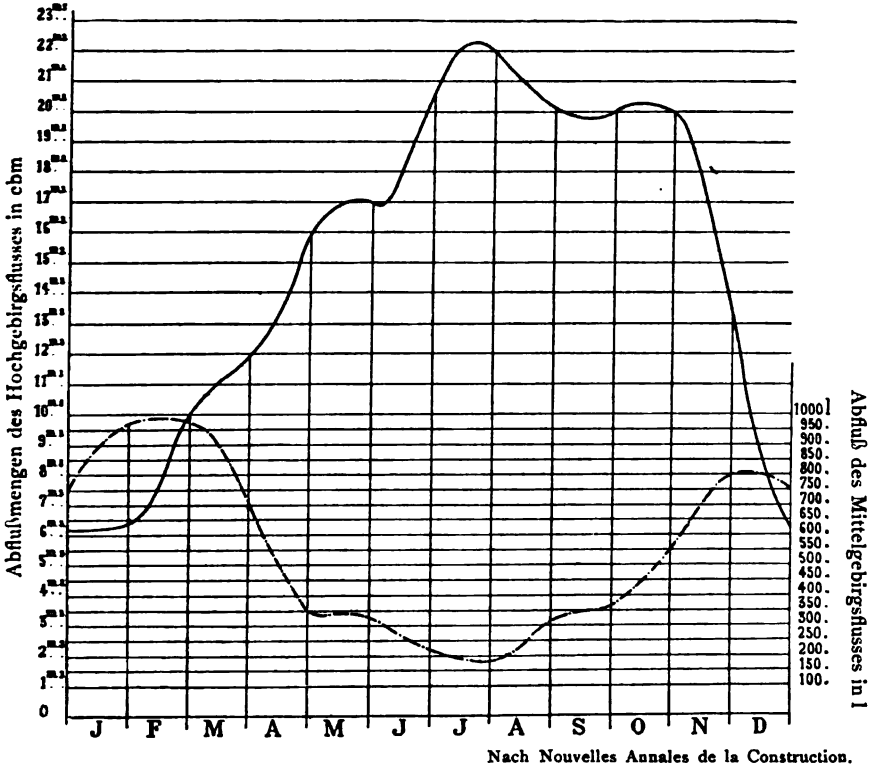
2) Über die ausgleichende Wirkung des Bodensees als Staubecken auf die Wasserführung des Rheins s. Zentr. d. Bauverw. 1907, S. 543. S. auch Gelpke, Großschiffahrt auf dem Rhein von Straßburg nach Basel.

Tabelle 12. Ergebnisse der Berechnungen aus den Beobachtungen und Messungen der Regen- und Abflußmengen in einzelnen Fluß- und Seengebieten Ostpreußens[1]).

Nr.	Bezeichnung des Gebietes	Größe des Niederschlagsgebietes in qkm	Zugehörige Seenflächen in qkm	Prozentsatz der Seenflächen zum Niederschlagsgebiet	Jahre, in denen beobachtet, bzw. gemessen ist	Mittlere Regenhöhe im Jahre mm	Mittlere Abflußhöhe im Jahre mm	Prozentsatz des Abflusses vom Niederschlag	Wassermenge in Sekunden-Litern auf 1 qkm Niederschlagsgebiet: bei kleinstem Wasser	bei mittlerem Niedrigwasser	im Mittel des Jahres	bei Hochwasser	Bemerkungen
1	Gebiet der oberen Alle bis zur Ustrich-Schleuse	430,6	35,2	8,2	In 3 Jahren, von 1887 bis 1889	646	275	43	—	3,7	8,8	37,0	Die größte Hochflut.
2	Gebiet der oberländischen Seen	648,0	64,0	9,9	In 3 Jahren, von 1887 bis 1889	673	188	28	—	—	6,0	—	
3	Gebiet der oberen Alle bis zur Ustrich-Schleuse	430,6	35,2	8,2	In 10 Jahren, von 1882 bis 1891	?	221	?	2,9	3,7	7,0	37,0	
4	Gebiet der unteren Alle bis Friedland .	5254,0	169,9	3,2	In 2 Jahren, 1887 und 1888	636	181	32	1,7	3,0	5,8	90,0	Die größte Hochflut (1888) und trockenes Jahr (1887).
5	Gebiet d. masurischen Seen von Angerburg bis Johannisburg. .	3378,0	500,0	14,8	In 3 Jahren, von 1887 bis 1889	594	185	31	3,3	4,0	6,0	12,5	Die größte Hochflut (1889) und größte Trockenheit (1887).
6	Oberes Gebiet der Passarge bis Groß-Gemmern	570,0	24,0	4,2	In 2 Jahren, 1889 und 1890	694 ?	350	50	3,5	3,9	7,3	37,2	Nachwirkung der Hochflut von 1888.
7	Gebiet d. Memelstromes bis Kallwehlen	79600,0	?	?	In 2 Jahren, 1837 und 1890	580 (Im preußischen Teile)	205	35	2,93	—	6,5	21,2	Keine besondere Hochflut. Diese 2 Jahre wurden gewählt, da Hochfluten nicht gemessen worden sind.

1) Nach Intze, Die Wasserverhältnisse Ostpreußens.

erscheint sicher, daß durch den zwar gemeinhin als undurchlässig zu bezeichnenden, aber doch nicht vollständig dichten Untergrund in der Einfassung dieser kleinen Becken eine langsame Wasserabgabe eintritt. Die Folge wird eine gewisse stetige Speisung der Bäche auch in der trocknen



Nach Nouvelles Annales de la Construction.

Abb. 22. Darstellung des Abflußvorganges eines Hochgebirgs- und Mittelgebirgsflusses:
———— Abfluß im Gebiet der »Weißen Kohle«,
—·—·—·— Abfluß im Gebiet der »Grünen Kohle«.
Die 12 Monate des Jahres bilden die Abscisse.

Zeit sein, denn die Sümpfe haben in ihrer Gesamtheit immerhin einen ansehnlichen Fassungsraum.

Den Unterschied im Abflußvorgange eines Hochgebirgs- und eines Mittelgebirgsflusses kann man aus Abb. 22 erkennen. Das Schmelzen der Gletscher durch die Sonnenwärme erreicht seinen Höhepunkt im Juli. Während der Frostzeit hat diese Wasserspeisung ihren Tiefstand. Beim Mittelgebirgsfluß bewirken die niederschlagsreichen Zeiten von

Dezember bis Februar im allgemeinen einen hohen Wasserstand, während die Trockenheit des Sommers bei starker Verdunstung und Aufsaugung durch den Pflanzenwuchs die Wasserführung im Juli und August, bisweilen auch erst im Herbst, auf das kleinste Maß verringert.

Auf die vielerörterte Frage der Einwirkung der Bodenbedeckung, besonders des Waldes, auf den Niederschlags- und Abflußvorgang soll hier nicht eingegangen werden. Weiteres darüber siehe u. a. Handb. der Ing. Wiss. 3. Teil 1. Bd., Keller, Niederschlag, Abfluß und Verdunstung in Mitteleuropa und des Verfassers Schrift: der Talsperrenbau und die deutsche Wasserwirtschaft. S. 13.

Meist wird man aber zur Anlage von Sammelbecken schreiten müssen. Es ist die Aufgabe der Sammelbecken, einen über das Jahr ganz oder doch annähernd gleichmäßigen Abfluß zu ermöglichen. Aber man tut gut noch weiterzugehen, denn die Erfahrung hat gelehrt, daß es wünschenswert ist, den Ausgleich nicht nur im Jahreslaufe zu erstreben, sondern, wo es mit wirtschaftlichen Mitteln angeht, die Stauräume so groß zu bemessen, daß der Wasserreichtum des einen Jahres in das nächste und selbst in das zweite Jahr hinüber aufgespeichert werden kann. Es ist bemerkenswert, daß Intze — auf diesem Gebiet an Erfahrung so reich — bei einem seiner letzten Pläne, der Neyetalsperre, den Stauinhalt auf 65 v. H. der Jahresabflußmenge bemessen hat, ein Satz, der gegenüber der sonst üblichen Annahme von 30 bis 40 v. H. hoch erscheint[1]).

Die genaue Größenbestimmung der Becken wird stets unter Anhalt an die gegebenen Verhältnisse zu erfolgen haben. Das geschieht übersichtlich auf zeichnerischem Wege. In einem solchen Wasserwirtschaftsplane sind die drei Größen von ausschlaggebender Bedeutung: die täglichen Zuflußmengen, die tägliche Entnahme einschließlich der Verluste durch Verdunsten und Versickern und der Stauinhalt des Beckens. Indem man letzteren zunächst schätzt, wird man auf dem Wege des Versuchs zum Ziele gelangen, d. h. zur Erkenntnis, wieviel Kraft geleistet werden kann Bei allem aber wird man sich vergegenwärtigen müssen, daß etwa $^1/_3$ und weniger des Gesamtjahresabflusses auf den Sommer und $^2/_3$ und mehr auf den Winter entfallen. Ist der Beckenstauraum nicht sehr reichlich bemessen, so wird man im Winter eine größere Kraftausnutzung erzielen können und dementsprechend die

1) Weitere Angaben hierüber Zeitschr. für Bauwesen 1904, S. 302.

Maschinenstärke einrichten. Diese natürliche Verteilung des Wasserabflusses fällt im allgemeinen zeitlich mit dem größeren Kraftbedarf der Elektrizitätswerke für Beleuchtungszwecke im Winter günstig zusammen.

Tritt bei den Vorermittlungen für eine Wasserkraftanlage die Frage auf, wie groß die Ergänzung in trockner Zeit, sei es durch Zuschußwasser aus einem Sammelbecken oder durch eine Wärmekraftanlage geschaffen werden muß, um eine über das Jahr gleichmäßige mittlere Kraftleistung zu erzielen, so muß man den Umfang und die Zeitdauer des Wassermangels eines Jahres oder einer größeren Trockenperiode kennen. Als Unterlage hierfür dient wiederum die vorherige Messung der täglich wechselnden Wasserabflußmengen, die leicht erkennen läßt, um wieviel an einzelnen Tagen oder in ganzen Trockenzeiten die abfließende Wassermenge hinter der Jahresmittelwassermenge — auf den sekundlichen Durchschnitt berechnet — zurückbleibt. Einen allgemeinen Anhalt für vorläufige Ermittelungen werden die Ergebnisse der ausgedehnten Intzeschen Untersuchungen bieten, wenn man dabei die in der Tab. 5 angedeuteten örtlichen Verhältnisse dieser dem Mittelgebirge angehörenden Niederschlagsgebiete beachtet. Intze fand, daß für die Gebrauchswassermenge, die der mittleren sekundlichen oder täglichen Abflußmenge während eines Jahres entspricht (100 v. H.), der Mangel des ganzen Jahres inbezug auf das Mittelwasser des jeweiligen Jahres gerechnet, betrug:

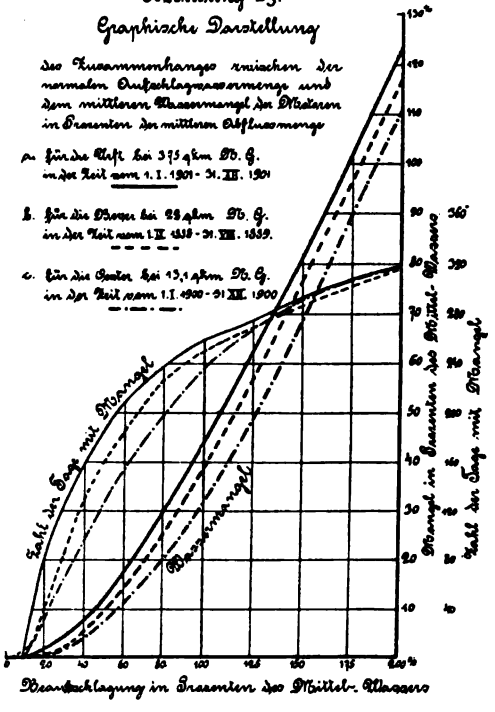
1. Für die Urft unterhalb Gemünd (Eifel)	im Jahre 1901	43,7 v. H.
	für das Jahr 1902	31,1 » »
2. Für das Östertal (Ruhrgebiet)	» » » 1899	41,8 » »
	» » » 1900	31,9 » »
3. Für den Harzdorfer Bach bei Reichenberg (Böhmen)		
im Jahre vom 1. Mai 1902 bis 30. April 1903		30,7 » »
4. Für die Görlitzer Neiße bei Röchlitz		
im Jahre vom 1. Mai 1902 bis 30. April 1903		21,5 » »
5. Für den Queis bei Marklissa (Schlesien)		
im Jahre vom 1. April 1901 bis 31. März 1902		36,8 » »
» » » 1. » 1902 » 31. » 1903		34,3 » »
6. Für die Ruhr bei Mülheim	im Jahre 1902	33,8 » »
7. Für das Bevertal bei Wipperfürth (Wupper)		
im Jahre vom 1. September 1888 bis 31. August 1889		39,35 »

Es zeigte sich dabei, daß in den meisten Jahren und in den meisten Niederschlagsgebieten der Wassermangel, der in einer Trockenperiode von mehreren Monaten eintritt, wesentlich kleiner ist, als derjenige für das ganze Jahr. So war z. B. für das ganze Jahr 1901 an der Urft der

Wassermangel in der Trockenperiode von 156 Tagen nur 31,8 v. H. der mittleren Abflußmenge, während im Jahre 1902 in der Trockenperiode von 197 Tagen dieser Mangel auf 30,1 v. H. sank.

Wenn also beispielsweise für eine Kraftanlage am Urftflusse der Mangel im Jahre 1901 43,7 v. H. betrug, so heißt das, es hätten 43,7 v. H. der Jahresabflußmenge als Kraftwasser oder die einem Produkt aus dieser Wassermenge und dem Gefälle des Werkes entsprechende Wärmekraft zugeschossen werden müssen, um ständig die mittlere Jahresleistung zu halten. Diese 43,7 v. H. Kraftwasser müssen dem Überschuß zu Hochwasserzeiten entnommen werden. Maßgebend für die notwendige Größe des Aufspeicherungsraumes werden im allgemeinen die oben angegebenen geringeren Prozentsätze von 31,8 und 30,1 einer langen sommerlichen Trockenperiode sein. So berechnet sich z. B. der Wassermangel in der Trockenperiode des sehr niederschlagsreichen Jahres 1901 zu $195{,}8 \cdot 0{,}318 = 62{,}3$ Mill. cbm und in der Trockenperiode des Jahres 1902 zu $148{,}2 \cdot 0{,}301 = 44{,}5$ Mill. cbm[1]). Aus diesen Ermittelungen kann man Folgerungen auf die notwendige Größe der Sammelbecken ziehen.

Abbildung 23.
Graphische Darstellung



Die Erkenntnis des Verhältnisses des Wassermangels zur mittleren Abflußmenge im Jahr ist u. a. bedeutsam für die Beitragsermittelung zu den Kosten bei genossenschaftlichen Sammelbeckenunternehmungen. Kennt man den mittleren täglichen Wasserbedarf eines Triebwerkbe-

1) Intze, Über die Wasserkraftverhältnisse im Gebirge. Z. f. Arch. u. Ing.-Wes. 1899. — Ders., Talsperrenanlagen, Weltausst. St. Louis 1904.

sitzers und den mittleren Jahresabfluß, so kann man aus der Kurve des Wassermangels und der der Zahl der Tage des Wassermangels seinen Bedarf an Zuflußwasser ermitteln, um auf die mittlere Leistung gebracht

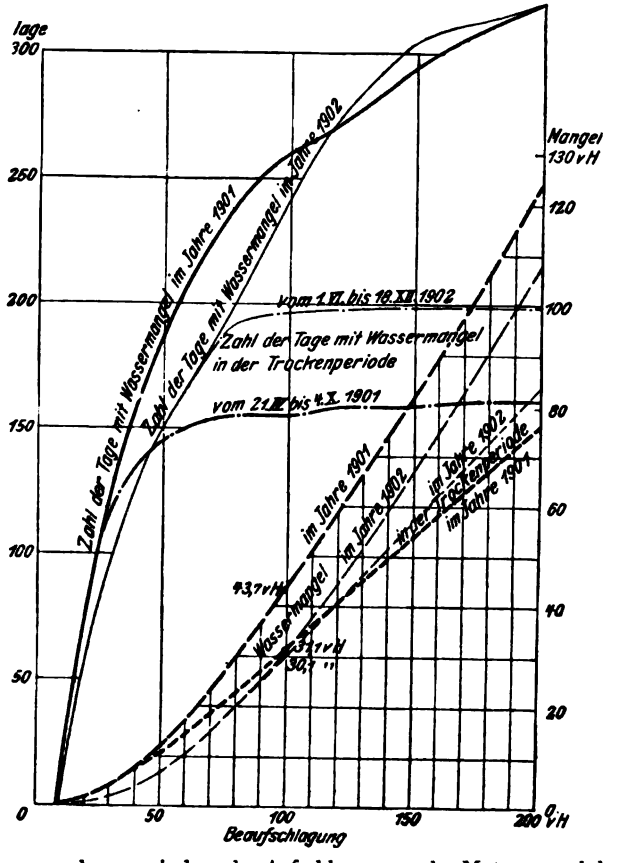


Abb. 24. Zusammenhang zwischen der Aufschlagmenge der Motoren und dem mittleren Wassermangel, dargestellt in v. H. der mittleren Abflußmenge für das 375 qkm große Niederschlagsgebiet der Urfttalsperre. Wassermangel und Abflußmenge sind gleichmäßig auf das Jahr verteilt in Rechnung gestellt.

zu werden. In dem Maße, in dem nun der Zufluß aus den Sammelbecken tatsächlich geleistet wird — wie der Wasserwirtschaftsplan ausweist — ergibt sich der Nutzen des einzelnen Triebwerkbesitzers aus dem Unternehmen und sein Anteil an den zur Deckung des Gesamtbedarfs entstehenden Kosten.

Diese Beziehungen lassen sich in sehr übersichtlicher Weise zeich-

nerisch darstellen (Abb. 23[1]) und 24). Die Darstellung läßt z. B. erkennen, daß man für die Urft vor der Ausgleichung durch das Staubecken nur etwa 20 v. H. der Mittelwassermenge als Betriebswassermenge während 270 Tagen im Jahre 1901 zur Verfügung gehabt hätte; im Mittel der beobachteten Jahre an etwa 300 Tagen. Da das Mittelwasser der Urft fast 6 cbm/sek. beträgt, so hatte man nur 1,2 cbm/sek. für Kraftzwecke verwerten können, während durch das Staubecken 5 bis 6 cbm/sek. gewonnen werden.

Für die Größenbemessung von Sammelbecken interessieren in erster Linie die geringsten Abflußmengen während einer langen Trockenzeit.

Tabelle 13. Abflußmengenmessungen an der Remscheider Talsperre im Jahre 1904.

Größe des Niederschlagsgebietes: 4,5 qkm.

Jahr 1904	Gefallene Niederschläge in cbm	Im Stauweiher aufgefangene Wassermengen in cbm	Verhältnis der Abflußmengen zu den Niederschlägen in Hundertsteln	Bemerkungen
Januar . . .	373 500	307 640	82,4	
Februar . .	755 100	791 740	104,9	
März	409 950	248 150	60,5	
April	276 300	335 020	121,3	
Mai	186 750	79 630	42,6	
Juni	311 400	31 120	10,0	11 v. H. im Durchschnitt dieser sechs Monate.
Juli	186 300	9 480	5,1	
August . . .	164 250	4 410	2,7	
September .	159 300	2 770	1,7	
Oktober . .	373 500	24 750	6,6	
November .	651 600	262 340	40,3	

Von Bedeutung ist deshalb das Ergebnis der Messungen an der Remscheider Stauweiheranlage in dem außerordentlich trockenen Sommer 1904. Aus der vorstehenden Tabelle 13 geht hervor, wie gering der sommerliche Abfluß war, der im September auf 1,7 v. H. herabging, trotz der nicht unwesentlichen Niederschläge. Während in den sechs Monaten Mai bis Oktober die Regenmenge in dem 4,5 qkm großen Gebiet 1 381 500 cbm betrug, sind nur 152 160 cbm = 11 v. H. zum Abfluß gelangt. Hiervon sind nach dem Bericht von Borchardt 117 700 cbm im Becken verdunstet, so daß nur rund 34 000 cbm tatsächlich nutzbar wurden. Dieser geringe Abfluß tritt ganz zurück gegenüber dem ge-

1) Nach Intze, Talsperrenanlagen. 1904.

samten Jahresabfluß und würde bei einer sicheren Rechnung gleich Null angenommen werden müssen. Das heißt, der Beckeninhalt muß so groß bemessen werden, daß man damit die Wasserabgabe während der sechs Monate sommerlicher Trockenheit decken kann, ohne Zuschußwasser zu erhalten. Allerdings ist der Untergrund des Remscheider Gebietes sehr undurchlässig. Es ist fester Lehm- und Tonboden, das Verwitterungsprodukt des Schiefergesteins. Das deutet der große Abfluß im Winter an, der bis 95 v. H. steigt. Es findet somit im Winter keine nachhaltige Speisung des Untergrundes statt. Grundwasser ist im Sommer fast gar nicht vorhanden. Die Quellen versiegen, und der sommerliche Niederschlag verdunstet und wird von dem Pflanzenwuchs aufgezehrt. Aber doch ist das Remscheider Ergebnis für ähnliche Verhältnisse bemerkenswert (s. Tab. 7).

Es soll hier auf die weitgreifende Talsperrenfrage und die Verwertung der Sammelbecken für die Wasserkraftnutzung nicht näher eingegangen werden. Dieser Gegenstand ist vom Verfasser eingehend behandelt worden in der Schrift: Der Talsperrenbau und die deutsche Wasserwirtschaft[1]), und es sei gestattet, auf jene Ausführungen Bezug zu nehmen. Es ist in dieser Abhandlung die Frage untersucht worden, ob es möglich sein würde, dem Talsperrenbau in Deutschland eine allgemeine Ausdehnung zu geben und ihn zu einem wesentlichen Faktor der deutschen Wasserwirtschaft für die Zwecke des Hochwasserschutzes, der Kraftgewinnung, der landwirtschaftlichen Bewässerung und der Schifffahrt zu machen.

Der Wasserausgleich und die mit dem Talsperrenbau zusammenhängenden wasserwirtschaftlichen Voruntersuchungen sollen in den nachfolgenden Abschnitten nur insoweit berührt werden, als die Festlegung der Betriebswassermenge für ein Kraftwerk in Betracht kommt.

Betriebswassermenge für Flußwasserkraftwerke.

Nachdem der Wasserhaushalt eines Flusses oder Baches im ganzen wie in dem Wechsel der Jahreszeiten bekannt geworden ist, tritt die Frage heran, für eine wie große Wassermenge das Kraftwerk aufnahmefähig zu machen ist. Vom kaufmännischen Standpunkt hat der Abfluß die Bedeutung, daß er die Kosten der baulichen Anlagen, die wirtschaft-

1) Berlin 1902.

lich verwertbare Kraftleistung und den Umfang einer etwaigen ergänzenden Dampfanlage festlegt. Die richtige Bemessung der Betriebswassermenge ist mit der Kernpunkt der Projektierung einer Wasserkraftanlage. Überschätzung des vorhandenen Wasservorrats ist mehr als alles andere der Grund für finanzielle Mißerfolge von hydro-elektrischen Unternehmungen. Unzuverlässige Aufrechnungen dieser Art haben vielfach das noch heute gegen Wasserkraftunternehmungen in Nichtingenieurkreisen zu Tage tretende Mißtrauen verursacht. Es ist bei diesen Ermittelungen die Unsicherheit der Unterlagen keine größere als bei anderen industriellen Planungen, nur bedarf es des gehörigen Sachverständnisses, um zutreffende Ergebnisse zu finden[1]).

Wo es sich um den Bau eines Kraftwerkes an einem Wasserlaufe handelt, an dem Wasserkraftnutzung bereits stattfindet, werden die vorhandenen Triebwerke einen Anhalt für die nutzbare Wassermenge und die Bemessung der Maschinenstärke bieten. Immerhin ist es auffallend, wie ungleich bisweilen die Werke ein und desselben Flusses in ihrer Wasseraufnahmefähigkeit sind. Als ein Beispiel mögen die Verhältnisse an der Wupper erwähnt werden, wo die Triebwerke Aufschlagmengen von 655 bis 6120 l aufweisen. Im ganzen aber werden in einem solchen Falle, wie auch beim Umbau im Werke gegebene Verhältnisse vorliegen, und es wird vor allem Sache des Ingenieurs sein müssen, durch konstruktive Einrichtungen die höchste Nutzwirkung zu erzielen.

Bei Wasserkraftwerken in Gebirgsflüssen pflegt man im allgemeinen mit dem Mittelwasser — d. i. die gleichmäßig, in den Schwankungen der Größe und Zeit nach ausgeglichene Abflußmenge — oder mit einer mittleren Niederwassermenge, die nur während kurzen Zeiten und selten unterschritten wird, als Betriebswassermenge zu rechnen. Teils setzt man in letzterem Falle voraus, daß im Betriebe kleine Störungen durch Wassermangel bezw. Unterbrechungen in trockner Zeit für die angeschlossenen Gewerbe angängig erscheinen, teils zieht man, wenn erforderlich, eine Wärmekraftaushilfe in Betracht und nicht zuletzt wird man bei Gebirgskraftanlagen stets darauf bedacht sein, einen Ausgleich durch Sammelbecken, wie vorangedeutet, zu schaffen.

Im allgemeinen wird es nicht nötig sein, die allergeringste Wasserführung als die ununterbrochen nutzbare Kraft anzunehmen. Man hält in

1) The Engineering Magazine, Mai 1907.

Amerika dafür, daß es ausreicht, ein praktisches Mindestmaß des Abflusses festzulegen, das etwa in je 10 oder 11 Jahren erwartet werden kann. Der geringste Abfluß, der etwa alle 20 Jahre eintreten mag, sollte nicht dafür angesehen werden, daß er den Wert des Wasserlaufes als Krafterzeuger wesentlich vermindert[1]). v. Miller nimmt für die Berechnung der Wasserkräfte am Nordabhange der Alpen einen mittleren Abfluß an, der mindestens neun Monate im Jahr zur Verfügung steht, wobei er allerdings die Ergänzung durch Wärmemaschinen für manche Zwecke voraussetzt[2]). Bei den Ermittelungen der schweizerischen Wasserkräfte wird vielfach als maßgebender Zustand in der Wasserführung das »mittlere Niedrigwasser« angesehen. Als dieses gilt eine Wassermenge, die mindestens während 6 Monaten im Jahr vorhanden ist — die also während eines halben Jahres ausgenutzt werden kann. Daneben unterscheidet man noch ein »industrielles Minimum« — eine Wassermenge, die eine gewisse Zeit im Jahre wohl unterschritten wird, jedoch nicht in dem Maße, daß die Kraftabgabe zu sehr leidet. Nicht so große Bedeutung hat dieses industrielle Minimum — das auch für die Erteilung der Konzessionen maßgebend sein soll — wenn Dampfaushilfe vorhanden ist. Früher war mehr der Mittelwasserstand üblich, der im allgemeinen — wo genaue Messungen nicht vorlagen, gleich einem Abfluß von 9 l/sek. vom qkm des Nied.-Geb. gesetzt wurde.

Aus den eingehenden Untersuchungen Intzes über die Wasserverhältnisse im Wupper- und Ruhrtal geht hervor, daß dort die Wassertriebwerke i. M. nur auf eine Ausbeute von 40 v. H. der Mittelwassermenge eingerichtet sind. Es ist dies in dem ungleichen Wasserabfluß begründet, der dort vor Erbauung der Talsperren in trockener Zeit bis auf 5 v. H. des Mittelwassers gesunken ist. Es ist anzunehmen, daß die Triebwerke in langjährigen Erfahrungen zu diesem Satz gekommen sind, und es stellt sich darin gleichsam eine Gleichgewichtslage dar: Auf der einen Seite der Vorteil, den eine stärkere Kraftausnutzung mit einer größeren Maschinenanlage in wasserreicher Zeit bringen würde, — auf der anderen Seite der Verlust aus brachliegendem Kapital in trockenen Monaten. Wenn Q die Jahresabflußmenge ist, so würde sich demnach für einen 24stündigen Betrieb an 365 Tagen die im Kraftwerke nutzbare

1) Hydraulic Developm. Journ. of West. Soc. of Civ. Eng. 1903.
2) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1903, S. 1002.

Wassermenge auf $\frac{Q \cdot 0{,}4}{365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60}$ stellen. In einem durch Sammelbecken in seinem Abfluß regulierten Fluß wird diese Sachlage eine günstigere sein, und man wird dort bei genügend großem Stauraum mit einer fast gleichbleibenden Mittelwasserkraftmenge rechnen können. Diese beiden aus der Erfahrung hergeleiteten Angaben von Miller's und Intze's stimmen im ganzen überein, wie man aus der Tabelle 14 ersieht. Diese Tabelle ist vom Verfasser aufgestellt nach den Kurven über die Beziehungen zwischen Wassermangel und Aufschlagswassermenge (Betriebswassermenge), die Intze aus einer Reihe von Messungen entworfen hat, s. Zeitschr. d. Ver. d. Ing. 1906 (z. B. Abb. 24 bis 27).

Tabelle 14. Beziehung zwischen Aufschlagwassermenge und Wassermangel.

	Niederschlagsgebiet	Bei einer Betriebswassermenge von				
		20 v. H.	30 v. H.	40 v. H.	50 v. H.	60 v. H.
	qkm	Tage mit Wassermangel				
Urfttalsperre, Mittel 1901/02 .	375	75	105	140	150	175
Wuppergebiet, Bever-, Ülfe- und Bruchertal 1888/89	7,2—22	40	90	130	160	185
Östertal 1899/1900	13	60	90	115	145	165
Ruhr 1902	4450	0	40	125	150	175
Marklissa 1902/03	305	25	85	125	150	175
Görlitzer Neiße	—	10	20	30	50	80
Harzdorfer Bach	15,5	10	40	90	120	150

Nach den Intze'schen Untersuchungen würde ein Werk, das an einem Gebirgsfluß 40 v. H. der Mittelwassermenge als Betriebswassermenge ausnutzt, an etwa 100—120 Tagen im Jahre Mangel an Betriebswasser leiden, während bei 30 v. H. des M.W. als Betriebswasser die Aufschlagmenge an etwa 90 Tagen nicht vollkommen vorhanden sein würde. Es ist aber immerhin eine gewisse Übereinstimmung dieser beiden Erfahrungssätze vorhanden.

Wenn man genötigt ist, ohne daß unmittelbare Messungen vorliegen, die Kraftverhältnisse eines geplanten Kraftwerkes zu ermitteln, so wird man doch sicherlich einige Anhaltepunkte für die N.W.- u. M.W.-Menge und ihre Dauer aus vorhandenen Aufzeichnungen irgend welcher Art finden können und man wird darnach den Gesamtbetrag der Kraft ermitteln können in der Art, wie dies an dem nachstehend mitge-

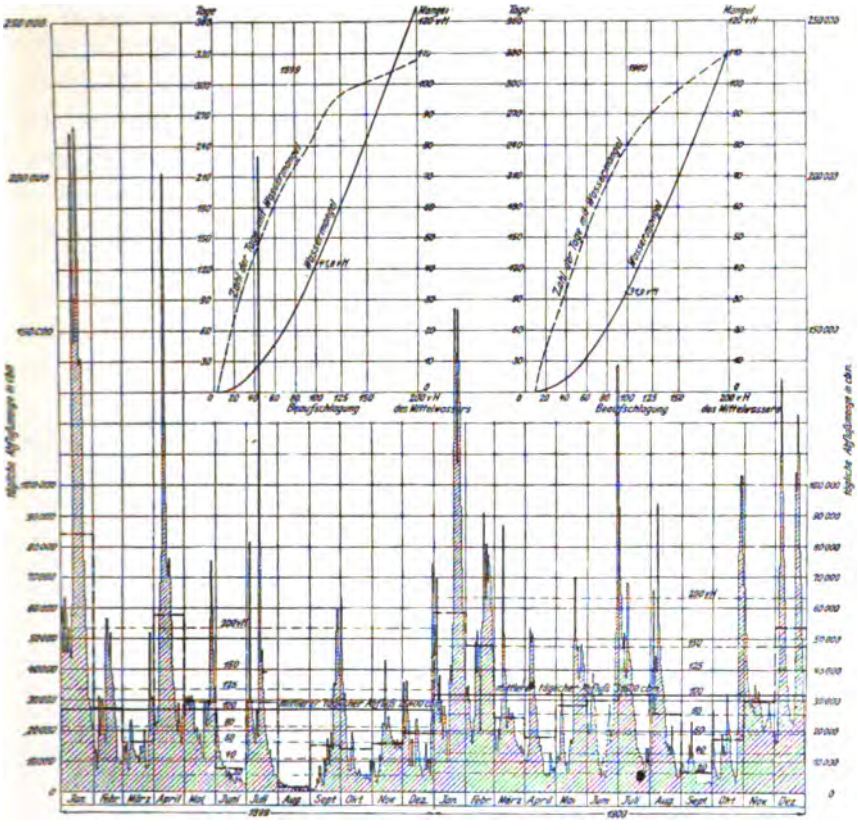


Abb. 25. Tägliche Abflußmengen im Östertal in den Jahren 1899 und 1900. Zeichnerische Darstellung des Zusammenhanges zwischen der Aufschlagwassermenge der Motoren und dem mittleren Wassermangel, dargestellt in v. H. der mittleren Abflußmenge. Wassermangel und Abflußmenge sind gleichmäßig auf das Jahr verteilt in Rechnung gestellt.

Niederschlagsgebiet 13,10 qkm.

Östertal		1899	1900
Jahresabflußmenge	cbm	9 624 000	11 534 000
Mittlere tägliche Abflußmenge	»	26 400	31 600
Mittlere Abflußmenge pro qkm	l/sek.	23,4	28,0
Abflußhöhe im Jahre	mm	734	880

teilten Betriebsplan der Wupperkraft am Solinger Elektrizitätswerk geschehen ist.

Eine ins einzelne gehende Ermittlung der Betriebswassermenge wird man etwa in folgender Weise durchführen können.

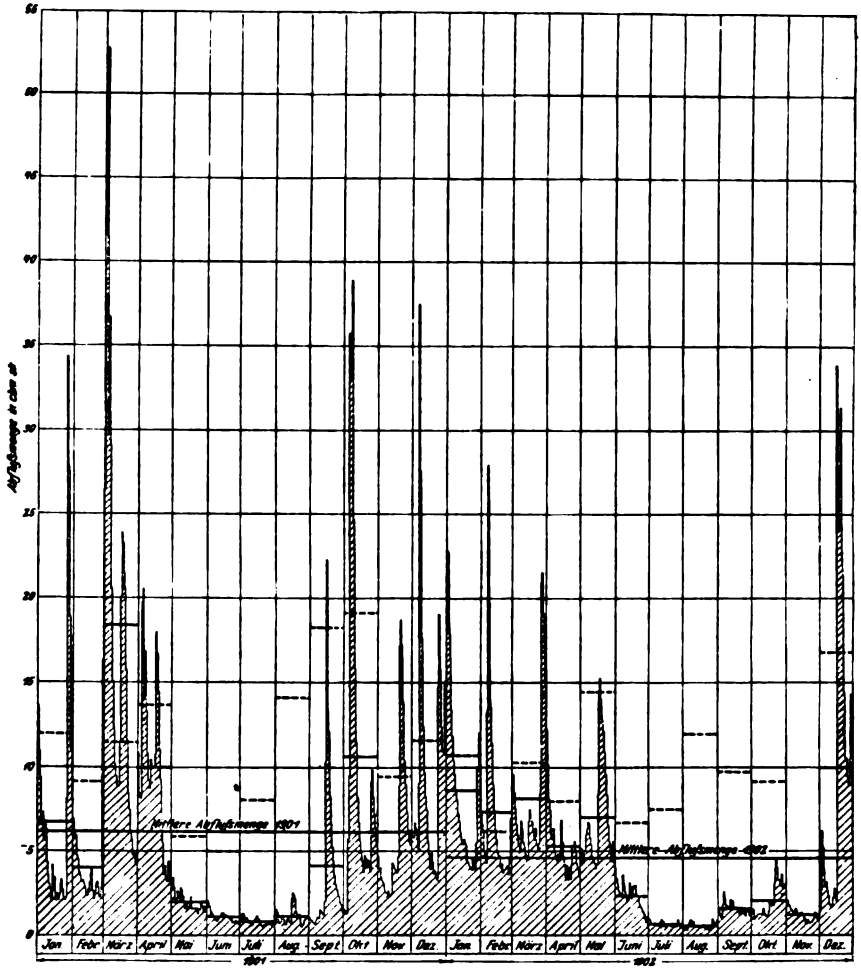


Abb. 26. Monatliche Niederschlagsmengen, sowie monatliche und mittlere sekundliche Abflußmengen an der Absperrstelle der Urfttalsperre für die Jahre 1901 und 1902. Niederschlagsgebiet 375 qkm.

Die Feststellung geschah durch selbstaufzeichnende Apparate und durch Geschwindigkeitsmessungen mittels Flügel und elektrischem Zählapparat.

Urfttal		1901	1902
Jahresabflußmenge	cbm	195 898 000	148 066 000
Mittlere sekundliche Abflußmenge	»	6,216	4,695
Mittlere Abflußmenge pro qkm	l/sek.	16,56	12,51
Regenhöhe	mm	965	810
Abflußhöhe	»	522	395
Verlusthöhe	»	443	415

Wie in Abb. 25 geschehen, zeichnet man sich für den Verlauf mehrerer Jahre, oder für einzelne für die Betriebsgestaltung maßgebende Jahre — mittlere Trockenjahre, oder mittlere Jahre mit trockenem Sommer, sofern Messungen vorliegen, die täglichen Abflußmengen auf; sofern genaue Messungen nicht vorliegen, wird man nach Pegelablesungen und sonstigen Aufzeichnungen und zwar in diesem Falle nur monatweise die Abflußverhältnisse zur Darstellung bringen, wie in Abb. 26 angedeutet ist.

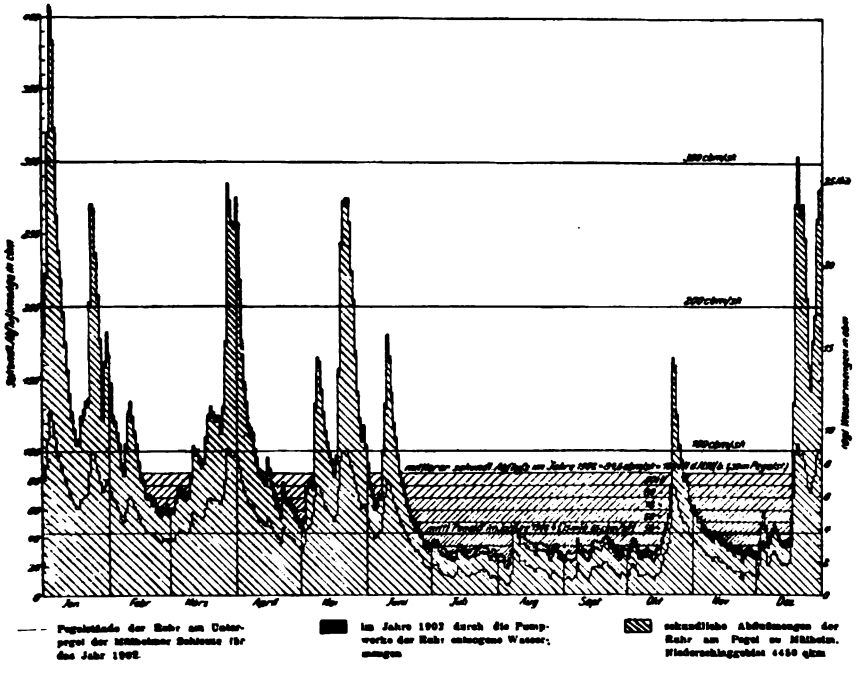


Abb. 27. Die Wasserverhältnisse der unteren Ruhr im Jahre 1902 und ihre Beeinflussung durch Pumpwerke und Sammelbecken.

Nach dem Gesamtjahresabfluß ermittelt man nun die Mittelwassermenge und trägt diese Linie in die Darstellung ein. Gleichzeitig auch Wagerechte; die die Aufschlagwassermenge entsprechend dem Wert von 20, 30 v. H. usw. der Mittelwassermenge angeben. Nun kann man die Kurve für die Zahl der Tage mit Wassermangel und den Wassermangel selbst verzeichnen (Abb. 23 und 24).

Die weitere Untersuchung greift auf das wirtschaftliche Gebiet hinüber. Man wird untersuchen müssen, ob 30—40 v. H. des Mittelwassers

als Betriebswasser überhaupt noch ausreichen, um eine wirtschaftlich nutzbare Kraftgröße zu schaffen. Bei hohen Gefällen wird das selbst an kleinen Wassergerinnen der Fall sein, anders aber bei niedrigen Gefällhöhen.

Ferner wird zu prüfen sein, ob eine Unterbrechung oder Verminderung des Betriebes und wie lange angängig ist. Ersteres kann bei elektrochemischen Werken wohl der Fall sein, das letztere bei Werken, die der Lichtversorgung dienen. Hier entspricht dem kleinen Wasserzufluß im Sommer der kleinere Lichtbedarf in dieser Zeit.

Wo eine durchaus gleichmäßige Kraftabgabe stattfinden muß, wird man die Dampfaushilfe nicht entbehren können, wobei dann in Betracht kommt, die Betriebswassermenge auf mehr als 40 v. H. des Mittelwassers zu steigern. Man wird für verschiedene prozentuale Aufschlagsmengen aus einer Darstellung, wie sie in Abb. 27 wiedergegeben ist, ermitteln, an wieviel Tagen im Jahre und in welchem Umfange das Dampfwerk in Tätigkeit treten müßte, um das Wasserkraftwerk zu der in Aussicht genommenen Leistung zu ergänzen, und wird für die verschiedenen Möglichkeiten eine Betriebskosten- und Selbstkostenberechnung des vereinigten Betriebes aufstellen müssen. Der billigste Selbstkostenpreis für die Krafteinheit (PS.- oder KW-Stunde) und Rücksichten auf sonstige maßgebende wirtschaftliche Faktoren und solche des Betriebes werden das Zweckmäßigste erkennen lassen. Eine allgemeine Regel läßt sich hier nicht aufstellen, es sei denn der Erfahrungssatz, daß man — ohne Dampf oder Talsperrenausgleich — wohl kaum über 60 v. H. des Mittelwassers als Betriebswasser hinausgehen wird.

Bei der größeren Wasserführung der mittleren und unteren Strecken der Wasserläufe kann man schon mit dem Niedrigwasser ansehnliche Kraftgrößen erschließen. Für einen Ausgleich der Wasserführung im großen Maßstabe wird man hier im allgemeinen nur ausnahmsweise, etwa unterhalb natürlicher Seen, in der Lage sein, die nötigen Aufspeicherungsräume zu bilden. Von den kleinen Weihern für Tagesstauungen wird weiter unten die Rede sein. Es darf daher als Regel bezeichnet werden, daß man bei größeren Flußläufen als Betriebswassermenge den Niedrigwasserabfluß wählt. Die damit zu erzielende Kraftmenge ist maßgebend für die Leistungsfähigkeit des Werkes. Bei Hochwasser pflegt man dem Flusse entsprechend mehr Wasser für Betriebszwecke zu entnehmen, um damit einen Ersatz für das in solchen

Zeiten verminderte Gefälle herbeizuziehen und die normale Stärke des Werkes möglichst aufrecht zu erhalten.

Aber es kommt hier für die Wasserkraftnutzung noch ein weiterer Umstand in Betracht. An den mittleren und unteren Flußstrecken mit reichlicher Wasserführung sind in erster Linie die Forderungen der Schiffahrt maßgebend. Die frühere Ausnutzung mit schwimmenden Schiffsmühlen hat hier dem gesteigerten Verkehr weichen müssen. Neuerdings tritt jedoch die Frage der Kraftausnutzung an den kanalisierten Flüssen wieder mehr in den Vordergrund. Der Bedarf der Schiffahrt für die Schleusungen beträgt nur wenige Kubikmeter und tritt gegenüber dem natürlichen Wasservorrat der Flüsse stark zurück. Prüsmann[1]) rechnet bei dem regen Schiffsverkehr auf dem Main auf die Schiffahrt nur 20 cbm/sek., während an fast 300 Tagen im Jahr der Fluß mehr als 100 cbm/sek. führt. Den Berechnungen für die Kraftgewinnung ist dabei diejenige Hauptwasserkraft zugrunde gelegt, die während etwa 200 Tagen zur Zeit der mittleren Wasserstände zur Verfügung steht. Diese Leistung muß in der übrigen Zeit des Jahres durch eine Dampfanlage ergänzt werden, die dann mehr oder weniger in Anspruch genommen wird. Die aussichtsvolle Aufgabe der Kraftausnutzung an den kanalisierten Wasserläufen wird weiterhin näher erörtert werden. Aber auch an den offenen Flüssen mit starkem Gefälle, die aus diesem Grunde unbedeutende Schiffahrt haben, sind in neuester Zeit Kraftanlagen entstanden oder geplant, und es mag die Wassermenge interessieren, die man hier dem Strome entzogen hat. Bei Straßburg, wo auf die Großschiffahrt Rücksicht zu nehmen ist, besteht ein Kraftwerk am rechten Rheinufer in einem seitlichen Arm am oberen Ende des Hafens bei Kehl, das bei vollem Betriebe etwa 50 cbm/sek. verarbeitet. Die geringste Wasserführung des Rheins beträgt hier etwa 300 cbm/sek. In Rheinfelden, 20 km oberhalb Basel, führt der Rhein bei niedrigstem Wasser 290 cbm/sek. Schiffahrt findet hier z. Zt. nicht statt, und man hat deshalb als zulässig erachtet 240 cbm für Kraftzwecke zu verbrauchen, während mindestens 50 cbm für die Flößerei im Rheine verbleiben müssen. An dem offenen Rhein bei Rheinfelden hat man sich somit bei seiner an sich starken und verhältnismäßig gleichbleibenden Wasserführung auf die Nutzbarmachung von etwa $^5/_6$ der kleinsten Abflußmenge be-

1) Ausnutzung der Wasserkräfte an Wehren kanalisierter Flüsse.

schränkt und damit doch eine bedeutende Kraft erschlossen. Die Verhältnisse am Rhein oberhalb Straßburg hinauf bis zum Bodensee sind außerordentlich eigenartig, weil die Bestrebungen der Schiffahrt und der Kraftverwertung in starkem Wettbewerb stehen, der in künftigen Jahrzehnten voraussichtlich noch mehr hervortreten wird.

In Vizzola (Oberitalien) dienen von der Gesamtwassermenge von 55—63 cbm/sek. rd. 3 cbm ständig dem Schiffahrtsbetriebe, der Rest für Kraftzwecke.

Einen weiteren Anhalt für die Bemessung der Aufschlagwassermenge im gegebenen Falle werden die Tab. 15 und 16 bieten, die für eine Reihe ausgeführter Anlagen eine Gegenüberstellung der natürlichen Wasserführung des Flußlaufes und der nutzbar gemachten Betriebswassermenge bringen.

Wesentlich für die Stärke einer Wasserkraft ist die Betriebszeit des Werkes. Im offenen Gewässer findet der Abfluß Tag und Nacht statt. Der Kraftbedarf ist jedoch meist nur am Tage während 10 bis 12 Stunden vorhanden. Ist es also möglich, den Wasserabfluß von 24 Stunden auf eine 10stündige Betriebszeit zu vereinigen, so steht in diesen Stunden der Arbeit eine Kraft zur Verfügung gleich dem 2,4 fachen der Durchschnittsleistung und, wenn man bedenkt, daß Sonntags meist nicht gearbeitet wird, so erhöht sich dieser Satz auf das 2,8 fache an 6 Tagen der Woche[1]).

Für die Betriebswassermenge des Albula Werkes[2]) war in dieser Hinsicht folgende Überlegung maßgebend. Das Niederschlagsgebiet der Albula am Kraftwerk ist 916 qkm groß. Die kleinste beobachtete Abflußmenge beträgt nach den Aufzeichnungen des eidgenössischen hydrometrischen Bureaus für die Flächeneinheit der ganzen Albula am Kraftwerk 6,41 l/sek. vom qkm. Daraus berechnet sich die minimale zur Verfügung stehende Wassermenge zu 5,87 cbm/sek. Aus den Pegelbeobachtungen der Jahre 1895 bis 1903 ergibt sich, daß dieser geringste Abfluß im Mittel aus 9 Jahren höchstens während 24 Tagen zu erwarten ist. Das neue Werk ist hiernach auf die Ausnutzung von 6 cbm/sek. angelegt, so daß nur in außerordentlichen Fällen und in geringem Maße zur Benutzung der vorhandenen Dampfreserve geschritten werden darf.

1) The value of water powers. Eng. Rec. 1904 S. 694.

2) Die Erstellung einer elektrischen Kraftübertragungsanlage an der Albula, Zürich 1904. Das Werk ist zurzeit in der Ausführung begriffen.

Tabelle 15. Betriebswassermenge bei Niederdruckwerken.

	Niederschlagsgebiet	Natürliche Wasserführung cbm/sek.			Betriebswassermenge cbm/sek.			Gefälle	Leistung	Bemerkungen
	qkm	N. W.	M. W.	H. W.	N. W.	M. W.	H. W.	m	PS.	
Wynau (Schweiz, Aare)	9 600	83	—	1 800	75	—	100	4,00 bzw. 3,00	3 000	8 cbm dienen zur Speisung des Fischpasses.
Rheinfelden (Rhein)	36 000 mit 1500 qkm Seenfläche und 3,2 % Gletscherfläche	290	—	3 700	240	—	—	2,8—4,9	16 800	50 cbm müssen bei N. W. im Rhein zur Flößerei verbleiben.
Chèvres (Rhone unterhalb Genf) . . .	10 100 davon 1040 qkm Gletscher, 580 qkm Genfer Seefläche	120 (Winter)	—	900 (Sommer)	120	—	280—300	8,5 (Winter) 4,5 (Sommer)	12 000 (normal, bei N. W. nur 10 000 PS.)	
Solingen	500	5—6,00*)	12,0	400 bis 500	5—6	12,0	20	5,0	950	*) Aufgehöht durch Sammelbecken, ohne Sammelbecken $1^1/_2$—2 cbm.
Jonage (Rhone) (Frankreich)	—	175	—	—	100 (343 Tage)	—	150 bei 600 cbm und mehr Wasserführung (22 Tage)	11,5—12,6	20 000	Die normale Kraft ist 12000 PS.
Wangen a. d. Aare .	—	80	200—500 (Sommer)	1 600	74	120 (an 200 Tagen)	—	10,8	9 000	Bei kleinstem Wasserstande sollen noch 6,5 cbm/sek. im Fluß verbleiben.
Kraftwerke San Giovani Lupattoto an der Etsch b. Verona	—	60	—	1 000	23	—	—	5,7	2 900	Die Konzession gestattet die Entnahme von einem Drittel der N.W.-Menge des Flusses.
Schweinfurt	—	14	32	—	—	32	—	2,50	800	Die Betriebswassermenge von 32 cbm/sek. ist während 8—9 Monaten im Jahre vorhanden. Für dieses M.W. ist die Anlage projektiert und als Ersatz in sommerlicher Trockenheit, in der die Leistung bis auf 350 PS. sinkt bei H.W. u. Eisgang eine Dampfanlage von 800 PS. Stärke errichtet. Betriebseröffnung 1905.

Tabelle 16. Betriebswassermenge bei Hochdruckwerken.

	Niederschlagsgebiet	Natürliche Wasserführung			Betriebswassermenge			Gefälle	Maschinenleistung	Bemerkungen.
		N.W.	M.W.	H.W.	N.W.	M.W.	H.W.			
	qkm	l/sek.	l/sek.	l/sek.	l/sek.	l/sek.	l/sek.	m	PS.	
Plan de l'Eau . . .	260	2 000	—	—	4 300	—	—	29	1 250	Diese 4 Werke liegen im Val de Travers bei Neuchatel und nutzen in 4 Stufen das Gesamtgefälle von 230 m aus.
Champ du Moulin .	270	bis	—	—	4 600	—	—	52	2 400	
Usine des Clées . .	290		—	—	4 800	—	—	56	2 700	
Combe Garrot . . .	280	2 200	—	—	4 000	—	—	91	3 600	
Elektrisches Werk der Stadt Davos . . .	—	250	—	430	—	—	430*)	100	200—430	*) Die höchste Betriebswassermenge wird erzielt durch Ausgleichbecken von 2700 cbm Inhalt am oberen Ende der Druckleitung.
Neuhausen (a. Rheinfall v. Schaffhausen)	ca. 30 000	130 000	330 000	1 100 000	20 000	—	—	20	4 000	
Lend-Gastein (Gasteiner Aache, Tirol) für elektrochem. Zwecke	—	2 500 (Winter)	—	—	8 000	—	—	96	7 500	Die Betriebswassermenge von 8 000 l/sek. soll erzielt werden durch einen Ausgleichraum v. 12 Mill. cbm.
Sarpsfos (Norwegen)	—	80 000 bis 100 000 ausnahmsweise 60 000	133 000 (während 9 Monaten)	—	—	133 000	—	18	24 000	In den drei Wintermonaten kann in der Regel nur auf 15 000—18 000 PS. gerechnet werden. Ausnahmsweise stehen vorübergehend nur 11 000 PS. zur Verfügung. Karbidfabrik.

Kykkelsund	—	150 000 (Dieser Abfluß wird im Mittel nur an 36 Tagen im Jahre unterschritten)	—	—	150 000	—	—	18,75 bei H.W. 14,2	28 000	Es wird beabsichtigt, durch durch Stauung des Sees Mjösen einen Stauraum von 1 100 Mill. cbm zu schaffen und das N.W. auf 300 cbm aufzuhöhen. Elektrochemische Zwecke und Kraftabgabe.
Luzern-Engelberg .	107 davon 13 qm in der Region des ewigen Schnees	1 000*)	2 500**) (während 7 Monaten)	—	1 000	—	—	300	6 000	*) In niederschlagsarmen Jahren noch weniger zur Winterszeit. Luzern hat größten Lichtbedarf i. Sommer. Erhöhung der Leistung durch einen Ausgleichweiher s. S. 93. **) Stollen, Druckleitung, Kraftgebäude für 2 500 l/sek. angelegt.
Sillwerke bei Innsbruck	530	4 000	7 500	90 000	4 000	7 500	—	187	15 000*)	*) Zukünftige Maschinenleistung.
St. Maurice (Bois Noir)	—	mittl. N.W. 33 000 (geringstes N.W. 18)	—	650 000 (mittl. H.W. 1 000 000)	40 000	—	—	39 (Winter) 27 (Sommer)	15 000	
Kubel	78	500	—	130 000	—	4 600	—	—	—	Ausgleich d. Betriebswassermenge durch einen Stauweiher von 1,5 Mill. cbm Inhalt.
Heimbach	—	—	—	—	6 000	—	—	70—110	12 000	
Kardaun (Tirol) . .	—	600	—	—	1 000	—	—	210,0	2 000	
Gromo (Lombardei, Addagebiet) . . .	32	300	—	—	—	700	—	295	2 000	Durch Anlage eines Staubeckens von 1 Mill. cbm soll eine Vermehrung des N.W. (300 l) um 150 l/sek. erzielt werden. Le Génie Civil 1905.
Boffalora-Ticino (Italien)	—	8 000 bis 11 000	20 000 (an 320 Tagen)	—	—	—	—	18,6	7 000	Der Betriebskanal ist auf 20 cbm/sek. eingerichtet.

Infolge Aufspeicherung des Wassers oberhalb des Wehres zur Ausgleichung der Verbrauchsschwankungen während 24 Stunden ist eine Betriebswassermenge vorhanden

bei 11 stündiger Arbeitszeit von $\frac{6 \times 24}{11} = 13{,}1$ cbm/sek.

» 10 » » » $\frac{6 \times 24}{10} = 14{,}4$ cbm/sek.

Das nutzbare Gefälle ist 140,25 m, so daß bei 75 v. H. Nutzwirkung der Turbinen zur Verfügung stehen:

bei 10 stündiger Arbeitszeit $\frac{14{,}4 \cdot 1000 \cdot 140{,}25 \cdot 0{,}75}{75} = 20196$ PS.

» 11 » » $\frac{13{,}1 \cdot 1000 \cdot 140{,}25 \cdot 0{,}75}{75} = 18373$ PS.

Dementsprechend sollen im Krafthause 12 Turbineneinheiten von je 2000 PS. effektiver Leistung aufgestellt werden, von denen 2 als Reserve dienen.

Fischer-Rainau berechnet die an Iller, Lech, Isar, Inn, Alz und Salzach gewinnbaren Wasserkräfte zu rd. 110000 PS. während 24 Stunden täglich, wohingegen er die angenäherte höchste Tagesleistung der Zentralen zu 240000 PS. schätzt. Das Verhältnis der mittleren zur Höchstleistung ist also 1 : 2,2 [1]).

Diese Überlegung hat bei den Wasserkraftwerken zur Anlage kleiner Weiher geführt, teils um den Abfluß von Tag und Nacht zu regeln, teils um den Überfluß wenig belasteter Tagesstunden für die Spitzen des Kraftverbrauchs — bei Lichtwerken am Abend — aufzuspeichern. Solche Ausgleichweiher finden sich z. B. an der durch Talsperren regulierten Wupper. Diese kleinen Stauräume von 30000 bis 72000 cbm Fassungsvermögen haben den Zweck, das aus den Sammelbecken über Tag abgelassene Wasser auf den Zwischenstrecken, durch die es über Nacht und ungenützt durch die Feiarche abfließen würde, aufzusammeln. Sie werden entsprechend der Fließgeschwindigkeit in solchen Entfernungen angelegt, daß sie für die unterhalb gelegenen Werke den Tag- und Nachtabfluß ausgleichen. Nach ähnlichem Gesichtspunkt ist ein solches Becken für den täglichen Ausgleich eines einzelnen zentralen Werkes zu bemessen, während natur-

1) Deutsche Bauzeitung 1905. Erörterungen über diese Frage s. auch »Beiträge zur Hydrographie des Großh. Baden«. Zwölftes Heft. 1906.

gemäß bei einem Kraftwerke, das aus einem großen Stauweiher gespeist wird, sich wechselnde Kraftleistung ohne weiteres ermöglichen läßt.

Das Elektrizitätswerk Gersthofen am Lech hat einen Stauweiher von 350000 cbm nutzbarem Raum, der es ermöglicht, zur normalen Tagesleistung von etwa 6000 PS. in den Abendstunden bei lebhafterem Lichtbedarf noch 6000 PS. aus dem am Tage aufgestauten Vorrat hinzuzufügen. Ähnlichen Zweck verfolgen die kleinen Becken der Edisongesellschaft zu Los Angeles (Kalifornien)[1], sowie das Aufspeicherungsbecken von 150 ha Fläche des Kraftwerkes von Jonage (Rhone) (s. Abb. 28)[2], das dazu dient, das Wasser in der Zeit, in der die Turbinenanlage außer Betrieb ist — 12 Uhr nachts bis 5 Uhr morgens — aufzusammeln. Der Ausgleichweiher des Elektrizitätswerkes Luzern-Engelberg (Abb. 29) hat eine Wasserspiegelfläche von 22000 qm und ein Fassungsvermögen von 70 000 cbm. Seine Sohle ist hori-

Abb. 28. Lageplan der Kraftanlage von Jonage an der Rhone mit Ausgleichweiher von 150 ha Fläche am Betriebskanal.

1) Eng. Rec. v. 11. 3. 1905.
2) Nach Zentr. d. Bauver. 1900.

zontal. Die größte Wassertiefe beträgt 3,50 m. Die Dammkrone liegt 0,50 m über dem höchsten Wasserstand. Die ständige Leistung des Werkes beträgt bei 1 cbm/sek. Wasserzufluß 3000 PS. Mit Rücksicht auf die Wirkung des Sammelweihers wurde das Kraftwerk auf die Höchstleistung von 6000 PS. ausgebaut[1]).

Die Größe eines Ausgleichweihers für den Tagesausgleich ergibt sich nach ähnlichem Verfahren, wie solches für den Inhalt eines großen Sammelbeckens üblich ist. Die Kurve Abb. 30 zeigt die Belastung eines Elektrizitätswerkes an einem typischen Tage. An diesem Tage betrug die größte Belastung 2720, die geringste Belastung 612 K.W.

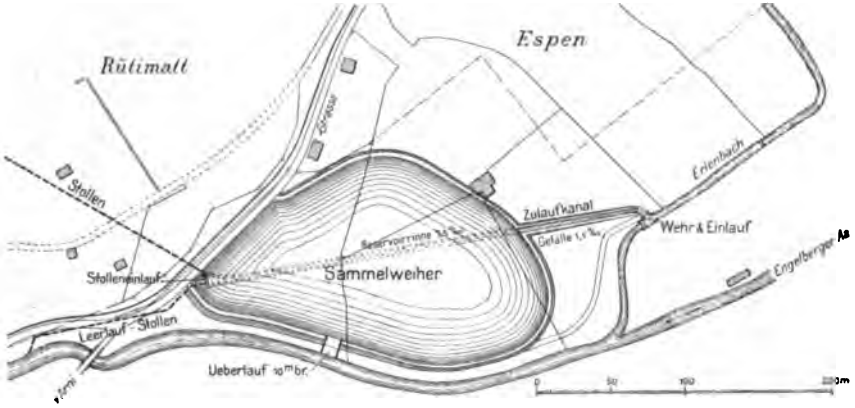


Abb. 29. Lageplan des Sammelweihers für das Elektrizitätswerk Luzern Engelberg von 70000 cbm Fassungsraum. Der Weiher liegt oberhalb des Zulaufstollens.

oder 22,5 v. H. des Höchstmaßes. Die Gesamttageslieferung war 30249 K. W., der Stundendurchschnitt 1260 K. W. 17,8 v. H. der Gesamtabgabe liegen über der mittleren Belastungslinie und zwar fand diese Lieferung über dem Mittel während 12,3 Stunden statt. Ein Ausgleichweiher müßte also unter Berücksichtigung des Gefälles am Kraftwerk so groß angelegt werden, daß 17,8 der nutzbaren Wasserkraft des Tages während 11,7 Stunden aufgespeichert werden können, damit diese Wassermenge in den verbleibenden 12,3 Stunden zur Erhöhung auf die mittlere Leistung abgegeben werden könnte. Die Maschinenleistung im Kraftwerk wäre auf 2720 K. W. zu bemessen. Eine ent-

1) Nach Schweiz. Bauz. 1906.

sprechende Aufnahmefähigkeit würde der Akkumulatorenbatterie zu geben sein, wenn nicht eine hydraulische, sondern elektrische Aufspeicherung stattfinden soll. Dabei wird man allerdings beachten müssen, daß die Akkumulatoren nur eine Kraft wiedergeben können, die um den in ihnen eintretenden Energieverlust kleiner ist als die ursprüngliche Kraft[1]).

Während die vorstehend beschriebene Aufspeicherung durch Becken geschieht, die in die Wasserzuführung eingeschaltet sind, ist eine neuere Erscheinung die Wasseransammlung in hochgelegenen Behältern, getrennt von der Kraftwasserzuleitung. Das Wesen dieser Art Akkumulierung besteht darin, daß in den Stunden schwachen Verbrauchs und

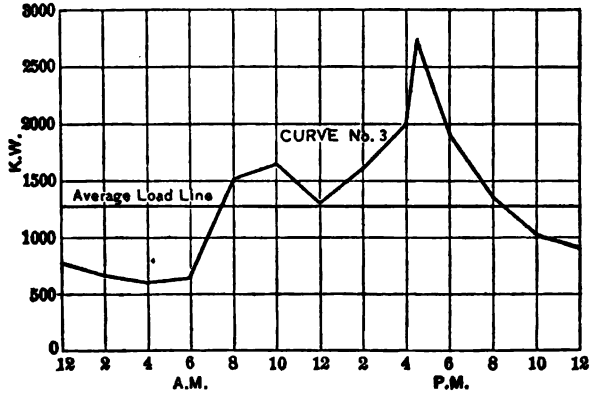


Abb. 30. Belastungskurve eines hydro-elektrischen Werkes.
Die Darstellung zeigt die Gesamtbelastung einer amerikanischen Überlandzentrale während eines typischen Wochentages im Januar 1901.

nachts das sonst ungenutzt abfließende Wasser für die Bildung eines Kraftvorrates verwertet wird, indem ein Teil des überschüssigen Wassers durch eine Hochdruckpumpe gehoben und aufgespeichert wird, der andere Teil aber die Kraft für diese Hebung liefert. Dieser Wasservorrat ergänzt mit dem Gefälle vom Hochbehälter bis zum Kraftwerk in den Zeiten starken Stromverbrauchs die normale Leistung. Vorbedingung für die Ausführbarkeit einer solchen Anlage ist, daß in der Nähe des Kraftwerkes eine Anhöhe vorhanden ist, auf der der Sammelbehälter errichtet werden kann.

Die erste Anlage dieser Art soll in Creva-Luino (Italien) im Jahre 1894

1) Adams, Electric Transmission of Water Power.

ausgeführt sein[1]). Eine größere Einrichtung hat das Elektrizitätswerk Olten-Aarburg (Schweiz) seit 1904. Hier war der Zweck der Aufspeicherungsanlage häufig auftretende, jedoch kurze Schwankungen auszugleichen. Für seltenen, länger andauernden Kraftzuschuß ist eine besondere Dampfaushilfe vorhanden. In Olten-Aarburg hat das Sammelbecken 12000 cbm Inhalt. Das Nutzgefälle von hier bis zum Kraftwerk beträgt 310 m und die ergänzende Hochdruckturbine leistet bei 280 bis 350 l/sek. Wasserverbrauch 950 bis 1200 PS. Die Pumpe fördert 133 l/sek. bei 325 m Hubhöhe einschl. Reibungshöhe. Ihr Kraftbedarf ist 800 PS.

Der Betrieb des Werkes gestaltet sich in folgender Weise: Hat das Niederdruckwerk Strom übrig, so wird dieser zum Pumpen von Wasser aus dem Oberwasser in das Hochbecken benutzt. Zu Zeiten erhöhten Strombedarfs wird die Turbine der Aushilfsanlage, die in einem besonderen Maschinenhause untergebracht ist, mit dem aufgespeicherten Wasser beaufschlagt, das die oben angegebene Leistung von 950 bis 1200 PS während etwa 10 Stunden zu liefern vermag. Diese Einrichtung hat sich in mehrjährigem Betriebe gut bewährt.

Auch bei der Erweiterung der Elektrizitätswerke der Stadt Schaffhausen wird die in den Nachtstunden sonst unbenutzte Wasserkraft verwendet, um mittelst Hochdruck-Kreiselpumpen das Wasser des Rheines nach einem Hochbehälter (75000 cbm Inhalt) zu heben, der 135 m über den Kraftwerken liegt. Dieser Druckwasservorrat soll dann in zwei Hochdruckturbinen von je 500 PS. ausgenutzt werden, die die übrige Maschinenleistung zu Zeiten des stärksten Strombedarfs ergänzen.

Wie durch Wasseraufsammlung kann man, wie schon bemerkt, diesen Ausgleich auch durch Akkumulierung des elektrischen Stromes erreichen. Allerdings ist hiermit ein nicht unbedeutender Kraftverlust von 20 bis 25 v. H. verbunden. Bei Werken mit starkem Wechsel des Kraftverbrauchs werden diese Akkumulatoren eingeschaltet nicht nur aus dem Grunde der zeitlichen Verteilung der Kraft, sondern auch um eine gleichmäßigere Wirkung in den Arbeitsmaschinen zu erzielen, da bei plötzlichem Anlassen leicht Stöße entstehen. Es hat also die elektrische Aufspeicherung im Verteilungsnetz für den elektrischen Teil und den Betrieb der Gesamtanlage dieselbe Bedeutung wie die

1) Zeitschr. f. d. ges. Turb. 1907, S. 332.

Ausgleichweiher für den hydraulischen Teil der Wasserkraftwerke. In dieser Weise arbeitet z. B. das Werk von Untertürkheim a. Neckar, dessen Energie nach Stuttgart ferngeleitet wird; ebenso das Kraftwerk Weissach-Tegernsee (Bayern, 270 PS). Hier wird tagsüber eine Umformerstation gespeist, die abends die Beleuchtungsenergie für Tegernsee abgibt.

Welche Art des Ausgleichs — Stauweiher oder Akkumulatoren — bei einem einzelnen Zentralwerk vorteilhafter ist, wird im gegebenen Falle die Untersuchung der Kosten und Betriebsergebnisse ausweisen. Bemerkenswert ist, daß bei dem Elektrizitätswerk Aarburg die Wasseraufspeicherung im Hochbehälter günstigere Betriebsergebnisse liefern soll als eine vorher benutzte Akkumulatorenbatterie. Bei niederen Gefällen dürfte das Umgekehrte der Fall sein.

Ein großes Hindernis für die systematische Ausnutzung des gleichmäßig abfließenden Wassers ist an unseren Gebirgsbächen der ungleichartige Ausbau der Triebwerksmotoren. Ein den Bach herabkommendes Wasser reicht an dem einen Werke nicht aus für die volle Beaufschlagung der Turbinen, während an anderer Stelle die Motore nicht aufnahmefähig genug sind und das überschüssige Wasser ungenützt ablaufen lassen. Intze fand, wie erwähnt, daß z. B. an der Wupper die zweckmäßig verbrauchten Aufschlagmengen der Triebwerke von 655 bis 6120 l/s schwankten. Daraus erklärt sich naturgemäß das ungleiche Interesse, das die einzelnen Werke an dem Wasserablauf aus den Sammelbecken haben. Die großen Werke wollen in trockener Zeit möglichst viel aus den Becken abgelassen wissen, den kleinen ist mit einem sparsamen Wasserhaushalt gedient. Und praktische Ergebnisse des Talsperrenbetriebes haben als Folge aus diesem Widerstreit der Interessen erkennen lassen, daß ein vorzeitiges Leerlaufen der Becken eintritt, wenn die Forderungen der Großen das Übergewicht haben. Aber es entstehen noch andere Störungen am Bachlaufe selbst. Die großen Werke bemühen sich in Stunden, in denen sie nicht arbeiten, z. B. über Mittag, das Wasser hinter ihren Wehren aufzustauen zum ausgiebigeren Gebrauch in der späteren Arbeitszeit. Durch solches Verfahren wird nun zunächst dem Unterlieger die Betriebskraft für eine gewisse Zeit entzogen, dann aber, wenn der Oberlieger wieder mit voller Kraft einsetzt, so strömt mehr Wasser ab, als das untere Werk gebrauchen kann. Es muß den Überschuß ungenutzt laufen lassen. Dadurch entstehen mancher-

lei Reibungen zwischen den Nachbaren und polizeiliche oder Betriebsverordnungen führen hier meist unvollkommen zum Ziel.

Eine durchgreifende Hilfe wird hier nur erzielt werden können dadurch, daß die sämtlichen Werke eines Triebbaches auf die gleiche Aufnahmefähigkeit der Motore gebracht werden. Es mag ein solcher Normalisierungsplan gegenüber den heute obwaltenden Verhältnissen als ein weitgreifendes und gewagtes Unternehmen erscheinen. Aber doch darf er als das Ziel einer wirtschaftlicheren Gestaltung der Wasserkraftverwertung an den Triebbächen bezeichnet werden.

Allerdings sind die Werke meist in privatem Besitz. Ein Zwang zum Ausbau einer Maschinenanlage nach bestimmter Art kann nicht wohl ausgeübt werden, und ein einheitliches Vorgehen könnte nur angebahnt werden, wenn die Werke in eine Hand kämen, sei dies eine Genossenschaft, der Staat oder sonst ein Verwaltungskörper, oder wenn die Besitzer als Mitglieder einer Genossenschaft gehalten wären, bei Um- und Neubauten entsprechende Vorschriften zu befolgen. Eine solche Vereinigung könnte weiterhin auch zu dem Ziele einer einheitlichen Regelung der Betriebszeit in den Werken führen. Die vorerwähnte Aushilfe mit den Ausgleichweihern, die entlang am Bache verteilt sind, ist nur eine unvollkommene, und als die naturgemäße Betriebszeit muß die über Tag und Nacht ununterbrochene Arbeitszeit angesehen werden. Und es scheint, daß, selbst wenn in einzelnen Werken der ganzen Bachstrecke der ununterbrochene Betrieb nicht angängig ist, für diese die elektrische Akkumulierung in Frage kommen kann.

Wasserwirtschaftspläne zur Ermittlung der Betriebswassermenge für Talsperren-Kraftwerke.

Die Aufstellung eines Wasserwirtschaftsplanes gehört zu den schwierigsten, aber auch zu den interessantesten Aufgaben bei der Projektierung eines Talsperrenunternehmens. In dem Wasserwirtschaftsplane stellt sich das Fundament des ganzen Aufbaues dar. Er zeigt die mechanische Leistungsfähigkeit des Werkes, liefert also die Erkenntnis über die wirtschaftlich erschließbaren Werte und bildet somit die unentbehrliche Grundlage für die weiteren finanziellen Aufrechnungen, für die konstruktive Durcharbeitung der hydraulischen Anlagen, die Größenbemessung des Kraftwerkes, der Maschinenleistung und aller Einrichtungen der elektrischen Übertragung usw. Aber dieser Plan liefert auch die

leitenden Gesichtspunkte für die Wasserentnahme des Werkes und bildet damit zugleich die Richtschnur für die Maßnahmen des späteren Betriebes.

Bei der Aufstellung eines Wasserwirtschaftsplanes für Kraftzwecke wird man im allgemeinen — im Gegensatz zur Projektierung von Dampfanlagen — nicht von dem vorhandenen Bedarf eines Verbrauchsgebietes ausgehen können, sondern man wird den umgekehrten Weg gehen müssen und aus der gegebenen Abflußmenge ermitteln, eine wie große Leistungsfähigkeit erzielt werden kann. Bei der Gegenüberstellung von Zufluß und möglicher Abgabe wird man vor allem zwei Hauptgesichtspunkte im Auge zu behalten haben:

1. Es muß der Wasserbedarf für den Betrieb des Kraftwerkes unter allen Umständen auch in einem trockenen Jahre aus der Talsperre gedeckt sein. Zur Beurteilung dieser Frage werden die allgemeinen Erörterungen im Abschnitt »Betriebswassermenge für Flußwasserkraftwerke« Anhaltspunkte bieten.

2. Es muß bei Kraftwerken mit Sammelbeckenanlagen als unerläßliche Regel des Betriebes angesehen werden, daß das Staubecken beim Eintritt in die trockene Jahreszeit, also etwa am 1. April bis 1. Mai jeden Jahres gefüllt ist, um den Wasserbedarf in den sechs trockenen Sommermonaten zu decken.

Nachdem man sich in großen Zügen die grundlegenden Bedingungen für den Wasserhaushalt klar gemacht hat, wird man an die Aufstellung des Wasserwirtschaftsplanes auf Grund der durch Messung oder Berechnung ermittelten Wasserabflußmengen herantreten können. Ein solcher Plan kann zeichnerisch und rechnerisch aufgestellt werden. Das erstere Verfahren wird im allgemeinen eine übersichtlichere Darstellung abgeben. Beide Arten setzen aber voraus, daß man über die Verteilung der Abflußmengen im Jahreslaufe Kenntnis hat.

Bei der Untersuchung des Wasserhaushaltes von Sammelbecken muß man im allgemeinen probierend vorgehen, d. h. den Verbrauch und die Größe des Beckens in vorläufiger Annahme so groß wählen, als dies angängig erscheint ohne in Zeiten knapper Zuflüsse auf ein leeres Becken zu kommen. Wie weit man hierin gehen kann, muß die Untersuchung erweisen, jedenfalls aber hat man sich dabei zu vergegenwärtigen, wie dies später noch dargelegt werden wird, daß es für den Betrieb günstig oder gegebenenfalls unerläßlich ist, beim Tiefstand des Wasserstandes im Becken noch eine gewisse Reserve zu behalten. Derartige

Betriebspläne müssen insofern immer auf einer schwankenden Grundlage aufgebaut werden, als der Wasserhaushalt des Flusses sich in den einzelnen Jahren ungleichmäßig abspielt. Auch der Verbrauch an Betriebswasser, der sich dem Bedarf der Kraftabnahme anpaßt, ist ein wechselnder. Es ist also wünschenswert, die Untersuchungen über eine Reihe von Jahren (etwa 10 bis 12) auszudehnen und dabei auch die Frage zu prüfen, inwieweit der Stauraum etwa genügt, um den Wasservorrat des Niederschlagsgebiets nicht nur über die Trockenperioden eines Jahres, sondern über hintereinander folgende nasse und trockene Jahre auszugleichen. Hier die richtige Größe für das Sammelbecken zu wählen, ist durch schematisches Verzeichnen der Betriebspläne allein meist nicht zu erreichen, sondern es ist außerdem die Mitwirkung treffender Sachkenntnis nötig. Es ist dann die Aufgabe von Rentabilitätsberechnungen an der Hand der Ergebnisse des Wasserwirtschaftsplanes zu prüfen, bis zu welcher Grenze die Mehraufwendung von Kapital für den größeren Stauraum im Einklang steht mit dem Vorteil, den die Kraftverwertung aus dem erzielten besseren Wasserausgleich und der vermehrten Betriebswassermenge zieht. Kurzsichtigkeit oder Geldknappheit hat sich dabei oftmals begnügt, den Stauraum nach dem eigenen, egoistisch oder kleinlich abgegrenzten Interesse zu bemessen, wiewohl der vorhandene Wasserreichtum des Tales eine größere für die Zukunft sicherlich vorteilhaftere Anlage gestattet hätte. An der Ennepe betrug bei 48 qkm Niederschlagsgebiet die jährliche mittlere Abflußmenge 36 Mill. cbm. Diese Zuflußmenge hätte die Anlegung eines mehr als 10 Mill. cbm enthaltenden Sammelbeckens nicht ausgeschlossen, indessen erschienen die Interessen der Werkbesitzer an der Ennepe durch eine Talsperre in dem Umfange von 10 Mill. cbm genügend gewahrt und eine Erhöhung der Kostensumme in der Zeit der Projektierung nicht gerechtfertigt[1]). Später hat man, wie an vielen anderen Talsperren, erkannt, daß der Stauinhalt zu klein bemessen ist.

Bei der Ermittlung des gewinnbaren Betriebswassers muß man ferner beachten, daß neben der Wasserabgabe gewisse Verluste im Sammelbecken auftreten, die praktisch der Entnahme von Wasser gleichkommen, jedenfalls die wirtschaftliche Ausnutzung des Wasservorrats beeinträchtigen und die Beckengröße beeinflussen. Es sind dies Verluste durch Versickern und Verdunsten des Wassers im Staubecken.

1) Harz, Die Ennepetalsperre S. 3.

Verluste durch Versickern im Talbecken selbst werden im allgemeinen außer acht bleiben können, da die großen Talsperren in der Regel in Tälern mit felsigem Untergrund errichtet werden. Es sind abnormale Fälle, wenn durch Klüfte und unterirdische Adern großer Wasserverlust entsteht (s. S. 23). Eingehender wird man diese Frage prüfen müssen, wenn im Flachlande große Becken im Alluvialboden geschaffen werden sollen. Es würde zu weit führen, an dieser Stelle auf den letzteren Gegenstand näher einzugehen.

An den Sperrmauern selbst ist bei sorgfältiger Ausführung eine fast volle Abdichtung zu erzielen. Wo stärkere Sickerungen vorhanden sind, hat dies meist in dem Fehlen einer guten Abdichtung des Mauerwerkes an der Wasserseite oder in der mangelhaften Bauausführung seinen Grund. Man wird für durchschnittliche Ermittlungen sicher rechnen, wenn man für diese Sickerverluste einen Betrag von 2 l/sek. auf je 1 Mill. cbm Stauraum in Abgang stellt.

Für die Verdunstung kommt die freie Wasserfläche des Staubeckens in Betracht. Zur Beurteilung der Verdunstungsverluste in dem Sammelbecken mögen folgende Angaben dienen.

Bei den im Wuppergebiet für die Zwecke des Talsperrenbaues vorgenommenen Verdunstungsmessungen hat man festgestellt, daß die Verdunstungshöhe einer ruhenden Wasserfläche — unter den dortigen Verhältnissen, Meereshöhe etwa 300 m — durchschnittlich 1000 mm im Jahre ist. Die Verdunstungshöhe beträgt in den Sommermonaten 10 bis 16 v. H., in den Wintermonaten 1 bis 3 v. H. der Jahreshöhe für 1 Monat (s. Tab. 17). Es waren flache Wasserbehälter von 1 qm Größe aufgestellt, darüber in 15 cm Entfernung eine Glasplatte gelegt, die dem Wind gestattete, über die Wasserfläche zu streichen, den Sonnenschein nicht behinderte, aber den Regen abhielt. Es war im Bevertal i. J. 1889 die Verdunstungshöhe in den einzelnen Monaten wie folgt:

Januar	27 mm	Juli	168 mm
Februar	30 »	August	135 »
März	60 »	September	102 »
April	97 »	Oktober	75 »
Mai	134 »	November	33 »
Juni	154 »	Dezember	10 »
		Jahr	1025 mm

Tabelle 17. Verdunstungshöhen (Messungsergebnisse).

	Lennep + 340 N.N.	Ülfetal + 270 N.N.	Bevertal + 270 N.N.
	mm	mm	mm
1889	855	966	1025
1890	629	704	799
1891	684	781	749
1892	792	835	836
Monatliches Maximum	156 (Mai 1892)	166 (Juni 1889)	168 (Juli 1889)
Monatliches Minimum	10 (November 1890)	4 (Dezember 1891)	20 (November 1890)

Bei den Vogesenstauweihern wurden jährlich 600 mm festgestellt, wovon 44 v. H. auf die Monate Juli bis September, also durchschnittlich täglich 2,9 mm entfallen.

In Augsburg wurde nach 14jähriger Beobachtung die Verdunstung von einer durch die Sonne beschienenen Wasserfläche festgestellt wie folgt[1]):

Januar	15 mm	Juli	221 mm
Februar	65 »	August	223 »
März	113 »	September	198 »
April	174 »	Oktober	115 »
Mai	200 »	November	76 »
Juni	205 »	Dezember	21 »
			1626 mm

Nach Friedrich ist die Verteilung der Verdunstung auf die einzelnen Jahreszeiten:

	Es verdunsten von der Regenhöhe der Jahreszeit %	Es verdunsten von der Regenhöhe des ganzen Jahres %
Frühling . . .	81	21
Sommer . . .	95	34
Herbst	68	15
Winter	35	6
	—	76

1) Journ. f. Gasbel. u. Wasserver. 1906 S. 1061.

Bei den Vorarbeiten für das Etzelwerkprojekt (Schweiz) ist für die Wasserfläche des Sihlsees — der 900 m über dem Meere liegt — eine jährliche Verdunstungshöhe von 900 mm angenommen. Die Versickerung in dem 96,5 Mill. cbm großen Becken an den Berghängen, im Untergrund und beiden Abflußdämmen ist zu 0,1 cbm in der Sekunde in Anschlag gebracht worden.

Für Voruntersuchungen vorliegender Art wird man i. M. für den Sommer eine tägliche Verdunstungshöhe von 4 mm, für die Wintermonate 1 mm als hinreichend in Ansatz bringen dürfen.

Falls die Abgabe des Betriebswassers zur Aufhöhung des Niedrigwassers in Triebbächen erfolgt, entstehen weitere Wasserverluste im fließenden Wasser. Es ist schwierig, über die Größe dieser Verluste durch Versickern oder Verdunsten allgemeingültige Angaben zu machen. Unsere Kenntnis über diese Vorgänge ist noch eine mangelhafte. Es sprechen bei diesem Vorgange viele Umstände mit, deren Besprechung den Rahmen dieser Schrift überschreiten würde[1]). Es ist zu erhoffen, daß ein systematisch angelegter Betrieb der neueren Talsperren hier Aufklärung und positive Ergebnisse bringen wird. Man wird gut tun, im Einzelfalle nach Erkundung der Untergrundverhältnisse in den Tälern der Triebbäche, der Grundwasserverhältnisse usw. sich ein ungefähres Bild der zu erwartenden Verluste zu machen. Bei den Untersuchungen über die Anlage von Staubecken im Quellgebiet der Lippe stand diese Frage zur Erörterung und man befürchtete, daß das aus der projektierten Talsperre an der Alme ausgelassene Wasser in den Klüften des durchlässigen Kalkgebirges zeitweise vollständig versickern würde. Wenn auch anzunehmen war, daß es auf unterirdischem Wege wieder zur Lippe zurückkehren werde, so mußte doch eine sichere und rechtzeitige Wirkung der Sammelbecken fraglich erscheinen[2]). Als ungefähren Anhalt möge man für nicht zu lange Gerinne — wie etwa an den Flußläufen, die in unseren deutschen Mittelgebirgen den Kraftzwecken dienen (Ruhr, Wupper) — als notwendig einen Ersatz von 10 v. H. des abströmenden Wassers für die erwähnten Verluste annehmen.

Es wird nach diesen einleitenden Bemerkungen nicht ohne Interesse

---

1) Einige Bemerkungen siehe in des Verfassers Schrift: Der Talsperrenbau und die deutsche Wasserwirtschaft S. 22.

2) Kommissionsbericht des preußischen Abgeordnetenhauses über die Wasserstraßenvorlage d. Jahres 1904, S. 89.

sein, die Betriebspläne einiger ausgeführten oder im Projekt genau durchgearbeiteten Talsperren und Wasserkraftunternehmungen kennen zu lernen.

Betriebsplan für die Urfttalsperre. In Abb. 31 ist der Betriebsplan für das Talbecken der Urfttalsperre und das Kraftwerk bei Heimbach dargestellt. Der Plan gilt für die Abflußverhältnisse der Jahre 1897 und 1898. Er enthält die Darstellung der 4 wesentlichen Faktoren: Die Zuflußmengen zu dem 45,5 Mill. cbm fassenden Becken, die Betriebswassermenge, die aus dem Becken entnommen wird und die sich zusammensetzt aus dem natürlichen Zufluß und dem Zuschuß aus dem aufgespeicherten Wasser, den jeweiligen Staubeckeninhalt, der sich aus Zufluß und Abgabe ergibt, und die zugehörige Druckhöhe, die im vorliegenden Falle besteht aus der wechselnden Stauhöhe im Becken (40 m) und der durch einen Stollen gewonnenen gleichbleibenden Gefällhöhe von rund 70 m. Der Maßstab für die Abflußmenge ist am linken Rande in cbm/sek., der des Stauinhalts in Mill. cbm angegeben, rechts ist die jeweilige Gefällhöhe ablesbar.

Auch ein solcher Plan muß im Wege des Probierens ermittelt werden. Man wird nach Erfahrungssätzen den Stauinhalt (45,5 Mill. cbm) vorläufig annehmen. Es ist hier in Übereinstimmung mit dem Vorgange, wie er sich im praktischen Betriebe voraussichtlich gestaltet haben würde, am 1. Mai 1897 ein volles Becken vorausgesetzt, das den Kraftwasserbedarf während des nächsten Sommers decken soll. Unter der weiteren Annahme, daß im Kraftwerk eine Leistung von 6300 PS. erzeugt werden soll, ist für den Monat Mai — als Zeiteinheit ist der Monat gewählt — eine Betriebswasserabgabe von rund 6 cbm nötig. Da dies den natürlichen Zufluß übersteigt, ist ein Zufluß aus der Talsperre erforderlich, der zur Folge hat, daß der Beckeninhalt sinkt. Dies bedingt seinerseits eine Abnahme der Gefällhöhe, und es wird im weiteren Verfolg im Monat Juni eine Steigerung der Betriebswassermenge nötig, die sich bis in den November hinein fortsetzt. Dieses Verfahren, das sich aus der gegenseitigen Beeinflussung der Betriebsfaktoren ergibt, würde zeigen, daß bei nicht zutreffenden Annahmen, z. B. zu starker Wasserabgabe, ein vollständiges Leerlaufen des Beckens eintreten würde. Hier ist als untere Grenze ein Stauinhalt von 2 Mill. cbm angenommen, der im Betriebe nicht unterschritten werden soll, und der Betriebsplan zeigt, daß in den Monaten November bis Dezember 1897 und Januar bis

Februar und im Dezember 1898 diese untere Grenze nahezu erreicht wird. Daraus geht hervor, daß eine größere Leistung als die angenommene von 6300, 6700 und 6000 PS. unter den gegebenen wasserwirtschaftlichen Verhältnissen nicht wohl zu erreichen gewesen wäre.

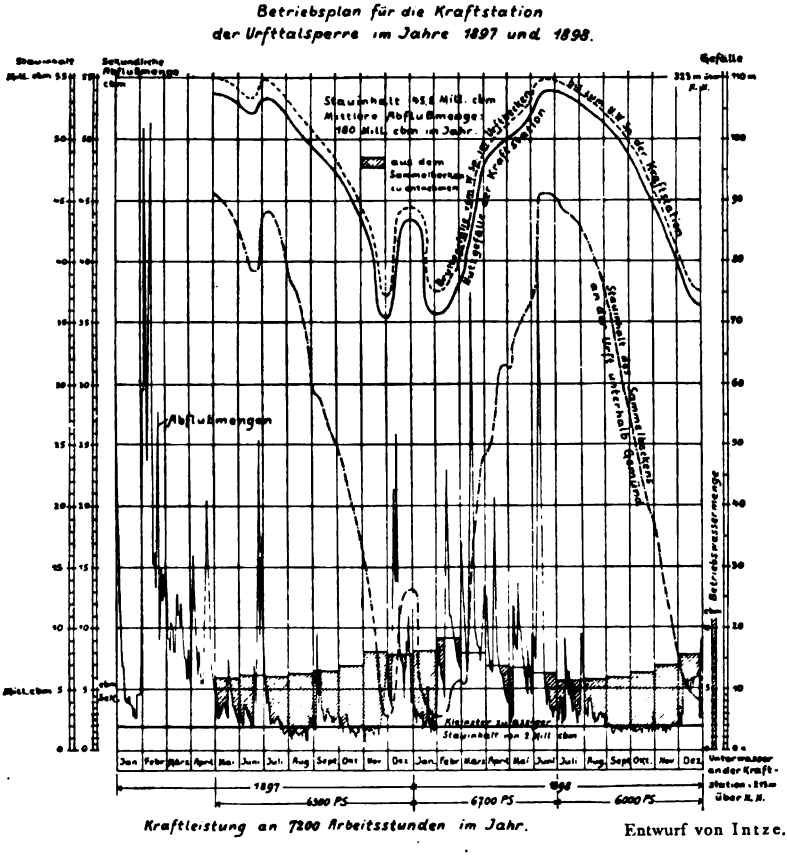


Abb. 31. Darstellung der sekundlichen Abflußmengen der Urft, der Schwankungen des Stauinhaltes im Sammelbecken und des Brutto- und Nutzgefälles, der Betriebswasserentnahme und der aus diesen Faktoren sich ergebenden Nutzleistung im Kraftwerk bei Heimbach a. d. Rur für die Jahre 1897 und 1898 (6000 bis 6700 PS. an 7200 Arbeitsstunden).

Es wird sich empfehlen, wie schon oben bemerkt, einen solchen Betriebsplan auf eine möglichst große Zahl von Jahren auszudehnen, worunter auch recht trockene vorhanden sein müssen, um die mit Sicherheit zu erwartende Mindestleistung klar erkennen zu können.

Der Betriebsplan der Urfttalsperre ergibt die Betriebswassermenge, die durch den Ausgleich im Becken von 45,5 Mill. cbm Stauinhalt aus dem vorhandenen Jahresabfluß für ein zentrales Werk genommen werden kann. Ebenso erweist der nachstehend mitgeteilte Betriebsplan der Okertalsperre die mögliche Abgabe von Zuschußwasser, ohne Rücksicht auf die natürliche Wasserführung im Flußlaufe. Bei einer Vermehrung des frei fließenden Wassers wird man naturgemäß das Becken nur dann und nur solange in Anspruch nehmen, als die natürliche Wasserführung nicht dem Bedürfnis der Triebwerke an Kraftwasser genügt. Es ist also nur mit Unterbrechungen Zuschußwasser in solcher Höhe aus dem Becken zu entnehmen, daß eine bestimmte normale Wassermenge im Flusse vorhanden ist.

Unter diesem Gesichtspunkt sind die Betriebspläne für die Wuppertalsperren aufgestellt worden, über die Intze eingehende Mitteilungen gemacht hat in seiner Schrift: Über die Wasserverhältnisse im Gebirge. Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen 1899 u. a. a. O.

Talsperre der Stadt Nordhausen a. H. I. Untersuchung über die Deckung des Trinkwasserbedarfs überhaupt:

a) Wasservorrat.

1. Mittlere jährliche Niederschlagshöhe (nach Messungen) 800 mm. In einem trockenen Jahre (1893) 600 mm. Der Abfluß wurde in der Voruntersuchung zu nur 50 v. H. des Jahresniederschlags angenommen. Niederschlagsgebiet 5,7 qkm.

2. Abflußmenge[1]):

In einem mittleren Jahre $5\,700000 \cdot 0{,}800 \cdot 0{,}50 = 2\,280000$ cbm Abfluß.
In einem sehr trocknen Jahre $5\,700000 \cdot 0{,}600 \cdot 0{,}5 = 1\,710000$ cbm Abfluß.

b) Wasserbedarf:

Nordhausen hatte im Jahre 1903 rund 30000 Einwohner. Für die Zukunft sind 45000 Einwohner angenommen. Verbrauch 100 l für den Kopf und Tag, einschließlich Bedarf für industrielle Zwecke. Also zukünftiger Verbrauch $45000 \cdot 100 \cdot 365 = 1\,642\,500$ cbm.

Der Bedarf ist also selbst in sehr trockenem Jahre gedeckt.

II. Größe des Stauraumes: a) Deckung des Trinkwasserbedarfs. Es wurde ein sehr trockener Sommer angenommen, in dem der Abfluß in

1) In dieser Rechnung der Voruntersuchung wurde, um den Nachweis zu erbringen, daß das Sammelbecken selbst unter den denkbar ungünstigsten Verhältnissen seinen Zweck erfüllen würde, noch unter die in Tab. 7 gegebenen Annahmen heruntergegangen.

den 6 Sommermonaten April bis September nur etwa 10 v.H. vom Jahresabfluß beträgt. In den 6 Sommermonaten also Abfluß ~ 180000 cbm.

Zukünftiger Verbrauch in den 6 Sommermonaten: $45000 \cdot 100 \cdot 30 \cdot 6 = 810000$ cbm. Am 1. April beim Übergang aus der nassen Jahreszeit in die trockene Sommerzeit müssen also für die Deckung des Trinkwasserbedarfs vorhanden sein: 810000—180000 = 630000 cbm.

b) Verluste für Verdunstung und Versickerung. Wasseroberfläche = 11,3 ha = 113000 qm. Verlust für das Sommerhalbjahr: Verdunstung 4 mm für den Tag. $180 \cdot 4 = 720$ mm; Verdunstungsverlust: $113000 \cdot 0{,}72 = 81360$ cbm. Versickerung 2 l/sek. $180 \cdot 86400 \cdot 2 = 31104$ cbm; zus. 112500 cbm d. i. etwa 1 m Wasserhöhe im Becken.

c) Daraus ergibt sich als notwendiger Inhalt des Beckens 630000 + 112500 = 742500 cbm. Vorhanden ist ein Stauinhalt von 770000 cbm. Der Überschuß von 30000 cbm entspricht etwa einer Wasserhöhe von 10 m als Reserve selbst in sehr trockenen Jahren.

III. Gegenüberstellung des vorstehend angenommenen und wirklich gemessenen Wasservorrates.

Gemessener Abfluß Abflußjahr 1903/04. Es flossen ab vom 1.10. 1903 bis 30.9.1904 ~ 1890000 cbm (s. Tab. 9). Das Jahr 1904 hatte einen außergewöhnlich trocknen Sommer. Der Abfluß der Sommermonate Mai bis Oktober betrug nur 13,0 v. H. des Jahresabflusses. Das Abflußverhältnis für das ganze Jahr war 56 v. H. In dem sehr trockenen Sommer 1904 sind also in den 6 trocknen Monaten abgeflossen $\frac{1890000 \cdot 13}{100} = 245700$ cbm gegenüber der Annahme von nur 180000 cbm. Abflußjahr 1904/05. Es flossen ab vom 1. 10. 1904 bis 30. 9. 1905 = 2995000 cbm. Das Abflußverhältnis für das ganze Jahr ist 58 v. H.

Es erwies sich somit, daß die Annahmen der Voruntersuchung im ganzen zutreffend gewesen waren. Sie bieten selbst für größere Trockenheit als im Sommer 1904 noch einen genügenden Rückhalt. Näheres über den Kraftgewinn an der Nordhauser Talsperre s. Abschn. IV.

Solinger Wasser- und Elektrizitätswerk. Aus den Voruntersuchungen ergab sich, daß der vorhandene Wasserreichtum weit über den Bedarf der Stadt für Trinkwasserzwecke von 2 Mill. cbm jährlich hinausging und ein Mehr von 6 bis 7 Mill. cbm für andere Zwecke zur Verfügung stand. Naturgemäß wurde Bedacht darauf genommen, diesen Überschuß durch Umsetzung in Kraft nutzbar zu machen und dement-

sprechend die Größe des Sammelbeckens zu bemessen. Die Geländeverhältnisse ermöglichten die Anlegung eines Beckens in der hierfür erforderlichen Größe von mehreren Millionen Kubikmeter Stauinhalt in vorteilhaftester Weise. Es war nun ein Ausgleich der Abflußmengen zu schaffen für die Trinkwasserversorgung und Kraftgewinnung. Der Ausgleich für Kraftzwecke wurde dadurch beeinflußt, daß mit der aus dem Sammelbecken zu schöpfenden Kraft eine zweite Wasserkraftquelle verbunden werden sollte. Es hatte sich aus den Voruntersuchungen ergeben, daß der Kraftzufluß aus der Talsperre durch die Wupperkraft verstärkt werden konnte. Etwa 1 km oberhalb des bei Glüder anzulegenden Kraftwerkes (s. Abb. in Abschn. VH) war in der Wupper ein Gefälle vorhanden, das zum Betriebe einer Schleiferei diente. Es war möglich, durch Einbau eines neuen Wehres in den Fluß und Umleitung des gestauten Wassers zum Kraftwerk ein Gefälle von 5 m bei M.W. zu schaffen. Die zur Verfügung stehende Wassermenge betrug 12 cbm bei M.W. und in trockener Zeit 5 bis 6 cbm sekundlich. Die Verhältnisse für eine so erweiterte Anlage des Wasserwerks lagen bei Glüder außerordentlich günstig. Man verfügte sonach über zwei Wasserkräfte, die sich gegenseitig ergänzten. In wasserreicher Zeit konnte die Wupper allein eine Arbeitsleistung liefern, welche der aus der Talsperre zu gewinnenden Kraft die Wage hielt. In trockener Zeit würde sie allerdings versagt haben. Zwar wird ihre Wasserführung durch die Anlage von zwei großen Talsperren an der Bever und Lingese im oberen Flußgebiet, sowie durch drei kleinere Ausgleichweiher geregelt und auf die angegebene geringste Wasserführung von 5 bis 6 cbm sekundlich gebracht. Allein das genügte nicht. Auch erfolgte dieser Kraftzufluß nicht regelmäßig. Es gibt wohl keinen Fluß, der in dieser Hinsicht so eigenartige Verhältnisse zeigt, wie die Wupper. Man kann sie heute kaum noch als ein natürliches Flußgerinne ansehen. Über Sonntag und in den Feiertagen liegt sie fast ganz trocken, weil dann die Triebwerke nicht arbeiten und sämtlicher Abfluß in den oberen Staubecken, den drei am Flusse entlang verteilten Ausgleichweihern und in vielen kleinen privaten Triebwerkteichen aufgefangen und zurückgehalten wird. Aber auch über Tag wechselt ihre Wasserführung in starkem Maße, weil der natürliche Abfluß durch willkürliche Anstauungen in den privaten Werken vielfach gestört wird. Wenn zwar diese täglichen Unregelmäßigkeiten durch weiteren Ausbau von Sammelbecken, vermehrte Anlage von ausgleichen-

den Zwischenstauungen und polizeiliche Maßnahmen zu beseitigen sein würden, so bleiben für ein an ununterbrochenen Betrieb gebundenes Werk der Mangel des Wassers an Sonntagen und die Schwankungen an einzelnen Tagesstunden sehr störend, und solche Zustände müssen auf seinen Betrieb lähmend wirken. Hier nun konnte durch das Sammelbecken im Sengbachtale, von welchem aus bis zum Kraftwerke an der Wupper ein mittleres Gefälle von 50 m zur Verfügung stand, eine vortreffliche Ergänzung geschaffen werden. Es liegt darin eine weitere und sehr bemerkenswerte Nutzwirkung der Talsperren, daß sie geeignet sind, für die Niederdruckwerke an Bächen und Flüssen einen Kraftvorrat zu bilden. Wenn zwar durch die Anlegung von Sammelbecken für die Aufhöhung des Niedrigwassers in fließenden Gewässern eine gleichmäßigere Wasserführung erreicht werden kann, so ist eine vollkommene Ausgleichung auf ständiges Mittelwasser technisch nicht durchführbar. Wassertriebwerke an Flüssen werden also stets einen in gewissen Grenzen schwankenden Kraftzufluß behalten, auch bei Regulierung der Abflußmengen durch Sammelbecken. Da kann nun eine Talsperre für eine einzelne solche Triebwerksanlage dann einen besseren Ausgleich schaffen, wenn von dem Stauweiher nach dem Triebwerk ein hohes, in Druckleitungen zu fassendes Gefälle zur Verfügung steht, so daß in Hochdruckturbinen mit geringem Wasserverbrauch dieselbe Kraftleistung hervorgebracht wird, wie die Niederdruckturbinen des fließenden Gewässers mit großem Wasserverbrauch darbieten. Ein solches Becken bildet gleichsam die sonst für unzureichende Wasserkräfte übliche Aushilfe durch Dampfkraft.

Es war in Aussicht zu nehmen, die Wupper so lange und insoweit arbeiten zu lassen, als ihre Kraft ausreichte. Erst wenn sie im Stich ließ, sollte das Talbecken eintreten. Die in einem Gebäude zu vereinigende Anlage der Niederdruckturbinen für das Wupperwasser und der Hochdruckturbinen für das Talsperrenwasser ermöglichte diese Umschaltung jederzeit im Augenblicke. Die beiden auf verschiedenen Wegen gewonnenen Kräfte konnten überdies, wenn erforderlich, gleichzeitig zur Befriedigung des vollen Bedarfs zusammen arbeiten und somit ein geschickter Betrieb sich dem jeweiligen Bedarf und Kraftzufluß in bester Weise anpassen. In dieser eigenartigen Ausnutzung der natürlichen Energien liegt ein besonderer Vorzug der Solinger Wasserkraftanlage.

Eine theoretische Vorausbestimmung des Beckeninhaltes auf der da-

durch gegebenen nicht ganz einfachen Grundlage konnte zu keinem Ziele führen. Aber man war in der Lage, nach dieser Richtung hin die Ergebnisse des Betriebes der Remscheider Talsperre zu verwerten, da ein ähnlicher Betrieb für die Solinger Anlage zu erwarten war. Nach den Erfahrungen in Remscheid konnte für einen solchen gemischten Wasserversorgungs- und Kraftbetrieb ein Becken als groß genug gelten, welches wenigstens ein Drittel der über den Trinkwasserbedarf überschüssigen Jahresmenge faßt. Es mußte also für Solingen ein Stauraum von mindestens $\frac{7}{3} = 2\,{}^{1}/_{3}$ Mill. cbm in Aussicht genommen werden, wenn nicht zu häufig ein Überlaufen des Beckens und damit Verlust von Betriebswasser eintreten sollte. Mit Rücksicht auf Verluste infolge Sickerungen und Verdunstung und zur Vorsicht, weil die Niederschlags- und Abflußverhältnisse des Sengbachtales derzeit noch nicht genügend bekannt waren, wurde ein Stauinhalt von 3,0 Mill. cbm gewählt.

Bei der Ermittlung der Leistungen ging Intze von diesem Beckeninhalt von 3000000 cbm als gegeben aus. Er stellte den Bedarf an Brauchwasser für die 4 Sommermonate Mai bis August fest und berechnete das Betriebswasser, um diese Wassermenge in den Hochbehälter zu pumpen. Einen Teil hiervon sollte die Wupper mit dem zur Verfügung stehenden Gefälle von 5 m liefern, der Rest wird aus dem Becken entnommen. Diese Kraftwassermenge wurde bestimmt und zu dem Brauchwasserbedarf hinzugenommen. Indem man diese Summe unter Berücksichtigung des Sengbachzuflusses während obiger Monate von dem Talbeckeninhalt von 3000000 cbm, das zu Anfang Mai gefüllt anzunehmen ist, abzieht, erhält man eine gewisse verfügbare Wassermenge. Diese liefert bei dem Gefälle von 50 m eine gewisse Anzahl Pferdekräfte, die auf die obigen 4 Monate gleichmäßig verteilt gedacht sind. Das gibt die für elektrische Stromerzeugung vorhandene Kraft.

Entsprechende Berechnungen wurden für die Wintermonate aufgestellt, wobei außer dem Brauchwasserbedarf für die Wintermonate berücksichtigt wird, daß das Becken zu Ende des Winters gefüllt sein muß. Auch für diese Zeit erhält man eine gewisse Anzahl Pferdekräfte als verfügbar für elektrische Stromerzeugung.

Vorstehende Berechnungen sind für zwei trockene Jahre durchgeführt.

Hinsichtlich der Einzelheiten sei auf die nachstehenden Aufrechnungen

verwiesen. Erwähnt sei als Ergebnis des späteren Betriebes, daß es vorteilhaft gewesen wäre, den Beckeninhalt auf 5 Mill. cbm, d. h. auf 60 v. H. des mittleren Jahresabflusses zu bemessen.

Ermittlung der Leistungen der Wasserkraftanlage an der Wupper bei Glüder für Wupperwasser und für Wasser aus der Talsperre im Sengbachtale.

I. Für ein Jahr mit besonders trockenem Sommer wie 1893.

Monat	Städtische Wasserversorgung	Nach dem Zufluß zum Eschbachtale bei Remscheid berechneter Zufluß zum Sengbachtal (einschließlich Grundwasser)
Januar	162 000 cbm	447 000 cbm
Februar	145 000 »	3 162 000 »
März	161 000 »	952 000 »
April	160 000 »	101 000 »
Mai	162 000 »	39 000 »
Juni	170 000 »	39 000 »
Juli	184 000 »	65 000 »
August	184 000 »	47 000 »
September	180 000 »	109 000 »
Oktober	175 000 »	1 006 000 »
November	162 000 »	1 591 000 »
Dezember	155 000 »	1 084 000 »
Summa	2 000 000 cbm	8 642 000 cbm

Mai, Juni, Juli, August Wasserversorgungsbedarf für die Stadt:

$$162\,000 + 170\,000 + 184\,000 + 184\,000 = 700\,000 \text{ cbm}.$$

Diese 700 000 cbm sind in 123 Tagen auf eine Höhe von 190 m zu pumpen; oder für den Tag im Mittel: 5690 cbm.

Diese 5690 cbm auf eine Höhe von 190 m, 24 Stunden hindurch, hochzupumpen erfordert

$$\frac{5\,690\,000 \cdot 190}{75{,}24 \cdot 60 \cdot 60} = 167 \text{ PS.}$$

Wegen Verlust in den Maschinen ist zur Vorsicht 40 v. H. mehr zu rechnen: 67 PS.

234 PS.

oder während 123 Tagen von 24 Stunden erforderlich: 690 768 PS. Stunden.

Die Wupper liefert bei Glüder für rund 500 qkm Niederschlagsgebiet einschließlich der Abflußmengen aus den Wasserwerken von Barmen u. Elberfeld:

An 106 Arbeitstagen der genannten 4 trockenen Monate 12 Stunden: 5 cbm/Sekunde mit 5,0 m Gefälle

$$0{,}75 \cdot \frac{5000 \cdot 5}{75} \cdot 12 \cdot 106 =$$

$$250 \cdot 12 \cdot 106 = 318000 \text{ PS. Stunden.}$$

An 17 Sonntagen von 12 Stunden: 3,3 cbm sekundlich einschließlich des an Sonntagen in Barmen und Elberfeld zu erhaltenden Minimalabflusses der Wupper daselbst von 2,5 cbm/Sekunde, mit 5,0 m Gefälle

$$0{,}75 \cdot \frac{3300 \cdot 5}{75} \cdot 12 \cdot 17 = 33660 \text{ PS. Stunden.}$$

In 123 Nächten von 12 Stunden: 2,0 cbm im Mittel sekundlich, der Wupper zugehörig und für Nachtbetriebe zu belassen, mit 5,0 m Gefälle

$$0{,}75 \cdot \frac{2000 \cdot 5}{75} \cdot 12 \cdot 123 =$$

$$100 \cdot 12 \cdot 123 = 147600 \text{ PS. Stunden.}$$

Zusammen: $318000 + 33660 + 147600 =$

499260 PS. Stunden.

Die Wupper liefert: 499260 PS. Stunden.

Noch erforderlich: $690768 - 499260 =$ 191508 PS. Stunden.

Diese fehlenden 191508 PS. Stunden sind in 123 Tagen von 24 Stunden vom Sengbach zu leisten. Diese Arbeit erfordert bei 50 m Gefälle vom Talbecken bis zur Pumpstation x cbm Wasser in der Sekunde.

$$0{,}75 \cdot \frac{x \cdot 1000 \cdot 50}{75} \cdot 123 \cdot 24 = 191508.$$

$$x = 0{,}13 \text{ cbm oder } x = 130 \text{ l/Sekunden.}$$

Während der vier Monate Mai, Juni, Juli und August ist daher für Betriebszwecke aus dem Sammelbecken ein Quantum zu entnehmen von

$$0{,}13 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 123 = \text{—} \; 1380000 \text{ cbm.}$$

Zufluß zum Becken:

Mai	39000		
Juni	39000		
Juli	65000		
August	47000	=	190000 cbm
			1190000 cbm.

Wasserversorgung während der vier
Monate Mai, Juni, Juli August: + 700000 cbm

Nötige Gesamtmenge dieser vier Monate: 1890000 cbm.

Angenommen: Das Becken ist Anfangs April gefüllt und Ende September geleert.

Es bleibt dann verfügbar für elektrische Zwecke (Beleuchtung und Kraftübertragung): Inhalt des Talbeckens 3000000 cbm
Nötige Menge im Mai, Juni, Juli und August — 1890000 »
Wasserversorgung im April u. September — 340000 »
Zufluß im April und September + 210000 »

Mithin: 980000 cbm verfügbar

Diese 980000 cbm mit nur 40 m Gefälle liefern

$$0{,}75 \cdot \frac{980000000 \cdot 40}{60 \cdot 60 \cdot 75} \cdot = 108639 \text{ PS. Stunden.}$$

Davon 70 v. H. für elektrische Übertragung in Solingen verfügbar:
76047 PS. Stunden.

Auf 106 Werktage von 10 Stunden gleichmäßig verteilt gedacht:

$$\frac{76047}{1060} = 72 \text{ PS. im Mitttel.}$$

April und September

Die Wasserversorgung für die Stadt erfordert:

$$160000 + 180000 = 340000 \text{ cbm.}$$

Diese 340000 cbm sind in 60 Tagen auf eine Höhe von im Mittel 160 m zu fördern.

$$\text{Tägliche Leistung: } \frac{340000}{60} = 5670 \text{ cbm im Mittel.}$$

Diese 5670 cbm in 24 Stunden auf eine Höhe von im Mittel 160 m zu pumpen, erfordert:

$$\frac{5670000 \cdot 160}{75 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = 140 \text{ PS.}$$

Wegen Verlust in den Maschinen ist
zur Vorsicht 40 v. H. mehr zu rechnen mit 56 »

oder Gesamtleistung: 196 PS. an 60 Tagen,
oder während 60 Tagen von 24 Stunden: $196 \cdot 24 \cdot 60 = 282240$ PS.Stdn.

Die Wupper liefert:

An 51 Arbeitstagen von 12 Stunden mit 6 cbm pro Sekunde im Mittel für April und September und für 5 m Gefälle:

$$0{,}75 \cdot \frac{6000 \cdot 5}{75} \cdot 12 \cdot 51 = 300 \cdot 12 \cdot 51 = \quad 183600 \text{ PS.-Stunden.}$$

An 9 Sonntagen von 12 Stunden mit 5 cbm im Mittel pro Sekunde und bei 5 m Gefälle:

$$0{,}75 \cdot \frac{5000 \cdot 5}{75} \cdot 12 \cdot 9 = 250 \cdot 12 \cdot 9 = \quad 27000 \text{ PS.-Stunden.}$$

In 60 Nächten von 12 Stunden mit 5 cbm pro Sekunde und 5 m Gefälle hat man:

$$0{,}75 \cdot \frac{5000 \cdot 5}{75} \cdot 12 \cdot 60 = 250 \cdot 12 \cdot 60 = \quad 180000 \text{ PS.-Stunden.}$$

Zusammen Wupper: 390600 PS.-Stunden.
Erforderlich: 282240 PS.-Stunden.
Mithin Überschuß: 108360 PS.-Stunden.

Davon 70 v. H. für elektrische Zwecke 75852 PS.-Stunden zu verteilen in 51 Werktagen von 10 Stunden oder

$$\frac{75852}{510} = 149 \text{ PS. im Mittel.}$$

Wintermonate.	Für die Wasserversorgung.
Januar	162000
Februar	145000
März	161000
Oktober	175000
November	162000
Dezember	155000

960000 cbm zu fördern in 182 Tagen von 24 Stunden auf eine Höhe von im Mittel 130 m oder für den Tag

$$\frac{960000}{182} = 5300 \text{ cbm.}$$

Dies erfordert:

$$\frac{5300000 \cdot 130}{75 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} = \quad 106 \text{ PS.}$$

Verlust in Maschinen 40 v. H. mehr 42 PS.

148 PS.

oder während 182 Tagen von 24 Stunden
$148 \cdot 182 \cdot 24 = 646464$ PS.-Stunden;

also erforderlich: 646464 PS.-Stunden

Die Wupper liefert im Mittel in diesen sechs Monaten sekundlich 11 cbm während 182 Tagen von 24 Stunden mit 5 m Gefälle, entsprechend:

$$0{,}75 \cdot \frac{11000 \cdot 5}{75} \cdot 182 \cdot 24 = \quad 2402400 \text{ PS.-Stunden.}$$

Es bleiben also verfügbar: 1755936 PS.-Stunden.

Das Becken.

Es fließt ins Becken während der sechs Wintermonate Oktober bis März einschließlich: 8242000 cbm

Die Wasserversorgung erfordert in dieser Zeit — 960000 »

Zur Füllung des Beckens ist erforderlich: — 3000000 »

Mithin überschüssig: 4282000 cbm.

Diese 4282000 cbm mit einem Gefälle von im Mittel nur 40 m geben

$$0{,}75 \cdot \frac{4282000000 \cdot 40}{75 \cdot 60 \cdot 60} = \quad 475778 \text{ PS.-Stunden.}$$

Also liefern das Wuppertriebwerk und das Kraftwerk des Talbeckens zusammen: 1755936 + 475778 PS.-Stunden = 2231714 PS.-Stunden.

Davon 70 v. H. für elektrische Zwecke in Solingen verfügbar: 1562200 PS.-Stunden.

Zu verteilen an 156 Werktagen von 10 Stunden:

$$\frac{1562200}{1560} = 1000 \text{ PS. im Mittel}$$

bezw. an 24 Stunden für den Tag gerechnet: 416 PS. im Mittel während der sechs Monate Oktober bis einschließlich März.

Für elektrische Zwecke blieb hiernach verfügbar in einem trockenen Jahre wie 1893:

76047 PS.-Stunden Mai, Juni, Juli und August;
75852 PS.-Stunden April und September;
2562200 PS.-Stunden Winter;

— 1714000 PS.-Stunden.

Zusammenstellung.

Erforderlich: Mai, Juni, Juli, August 690768 PS.-Stunden
April, September 282240 »
Wintermonate 646464 »

Summa erforderlich: 1619472 PS.-Stunden.

Die Wupper liefert:

Mai, Juni, Juli, August 499260 PS.-Stunden
April, September 390600 »
Wintermonate 2402400 »

+ 3292260 PS.-Stunden.

Das Becken liefert:

Mai, Juni, Juli, August
und April—September
für die Pumpen 191508 PS.-Stunden
für elektrische Zwecke 108639 »
Wintermonate 475778 »

775925 PS.-Stunden.

Verfügbar im Jahre: 2448713 PS.-Stunden.

Davon 70 v. H. für elektrische Zwecke — 1714000 PS.-Stunden.

Im ganzen stehen für Kraftzwecke zur Verfügung
1619472 + 2448713 = 4068185 PS.-Stunden.

II. Für ein trockenes Jahr wie 1892.

Monat	Städtische Wasserversorgung	Nach dem Zufluß zum Eschbachtal bei Remscheid berechneter Zufluß zum Sengbachtal (einschließlich Grundwasser)
Januar	162 000 cbm	1 820 000 cbm
Februar	145 000 »	1 339 000 »
März	161 000 »	325 000 »
April	160 000 »	281 000 »
Mai	162 000 »	385 000 »
Juni	170 000 »	161 000 »
Juli	184 000 »	60 000 »
August	184 000 »	65 000 »
September	180 000 »	426 000 »
Oktober	175 000 »	572 000 »
November	162 000 »	624 000 »
Dezember	155 000 »	1 742 000 »
Summa	2 000 000 cbm	7 800 000 cbm

Mai, Juni, Juli, August.

Wasserversorgung für die Stadt 700000 cbm auf eine Höhe von 190 m zu pumpen, erfordert [siehe 1893] 690768 PS.-Stunden

Die Wupper liefert [siehe 1893] 499260 PS.-Stunden

Aus dem Talbecken zu entnehmen: 191508 PS.-Stunden.

Dies erfordert eine Betriebswassermenge von: 1380000 cbm

Die Wasserversorgung erfordert: 700000 »

Summa: 2080000 cbm

Zufluß während der vier Monate: 671000 »

Nötiges Quantum: 1409000 cbm.

Angenommen: Das Becken ist Anfangs April gefüllt und Ende September geleert. Es bleibt dann verfügbar für elektrische Zwecke:

Inhalt des Beckens	+	3000000 cbm
Nötiges Quantum im Mai, Juni, Juli, August	—	1409000 »
Wasserversorgung April, September	—	340000 »
Zufluß April, September	+	707000 »
		1958000 cbm verfügbar.

Diese 1958000 cbm mit nur 40 m Gefälle liefern:

$$0{,}75 \cdot \frac{1958000000 \cdot 40}{75 \cdot 60 \cdot 60} = 217555 \text{ PS.-Stunden.}$$

April und September.

Erforderliche Leistung [siehe 1893]: 282240 PS.-Stunden

Die Wupper liefert [siehe 1893]: 390600 »

Verfügbar: 108360 PS.-Stunden.

Zusammen in Sommer: 325915 »

Davon 70 v. H. für elektrische Zwecke: 228140 »

Zu verteilen an 156 Werktagen von 10 Stunden: 146 PS. im Mittel.

Wintermonate

Wasserversorgung: 960000 cbm auf eine Höhe von im Mittel 130 m zu fördern, verlangen: 616464 PS.-Stunden.

Die Wupper liefert in dieser Zeit [s. 1893]: 2402400 »

Verfügbar: 1755936 PS.-Stunden.

Becken

Es fließen ins Becken 6422000 cbm
Die Wasserversorgung erfordert — 960000 »
Die Füllung des Beckens erfordert — 3000000 »

Es bleiben daher: 2462000 cbm verfügbar.

Diese 2462000 cbm mit einem Gefälle von nur 40 m geben

$$0{,}75 \cdot \frac{2462000000 \cdot 40}{75 \cdot 60 \cdot 60} = 273555 \text{ Stunden.}$$

Also zusammen im Wuppertriebwerk und im
Kraftwerk des Talbeckens 273555 + 1755936 = 2029491 PS.-Stunden.
Davon 70 v. H. für elektrische Zwecke 1420644 »
Zu verteilen an 156 Werktagen von 10 Stunden 910 PS. im Mittel.
bezw. an 24 Stunden für den Tag 380 PS. im Mittel.

Für elektrische Zwecke verfügbar in einem Jahre wie 1892:

Sommer Winter
228140 + 1420644 = 1649000 PS.-Stunden.

Zusammenstellung.

Erforderlich: Mai, Juni, Juli, August 690768 PS.-Stunden
April, September 282240 »
Wintermonate 646464 »
1619472 PS.-Stunden.

Die Wupper liefert:
Mai, Juni, Juli, August 499620 PS.-Stunden
April, September 390600 »
Wintermonate 2402400 »
+ 3292260 PS.-Stunden.

Das Becken liefert: Mai, Juni, Juli, August und April, September
für die Pumpen 191508 PS.-Stunden
für elektrische Zwecke 217555 »
Wintermonate 273555 »
+ 682618 PS.-Stunden.
2355506 PS.-Stunden.
Davon 70 v. H. für elektrische Zwecke — 1649000 »

Im ganzen stehen für Kraftzwecke zur Verfügung

$$1619472 + 2355506 = 3974978 \text{ PS.-Stunden.}$$

Man kann i. M. der Jahre 1892 u. 1893 rd. 4000000 PS.-Stunden annehmen[1]).

Talsperre Marklissa am Queis (Schlesien). Diese Talsperre ist als Hochwasserschutzbecken für einen Stauraum von 15 Mill. cbm bemessen. Unter Berücksichtigung des in dem 303 qkm großen Niederschlagsgebiet vorhandenen Wasserreichtums würde sich der zweckmäßig zu wählende Stauraum unter dem Gesichtspunkt der Kraftgewinnung wie folgt berechnen[2]).

Die gesamte Abflußmenge in den 18 Monaten vom 1. Oktober 1901 bis 31. März 1903 ist gemessen zu 327463000 cbm. Die mittlere Abflußmenge berechnet sich daraus zu

$$\frac{327463000}{547 \cdot 86400} = 6{,}93 \text{ cbm/sek.}$$

Diese Mittelwassermenge könnte man gleichmäßig während des ganzen Jahres schaffen, wenn man den Stauraum genügend groß machte. Maßgebend hierfür ist die längste unmittelbar aufeinander folgende Reihe trockener Tage, die hinter dieser MW.-Menge zurückbleibt. In dem obigen Zeitraum war dies der Fall zwischen dem 15. Juli und 14. Dez. 1902 d. s. 153 Tage. In dieser Zeit flossen 36964000 cbm ab. Für Erhöhung auf die Mittelwassermenge von 6,93 cbm würden notwendig sein: $153 \cdot 86400 \cdot 6{,}93 - 36964000 = 91609000 - 36964000 = 54645000$ cbm Stauraum. Aus der mittleren Stauhöhe — die man am zweckmäßigsten unter Zuhilfenahme eines Betriebsplanes nach Art des Planes für die Urfttalsperre ermittelt (s. S. 104) — würde man die Nutzleistung des abgelassenen Wassers — 6,93 cbm/sek. — in PS. finden können.

Wenn man in dieser Weise Ausgleich schafft für die längste Trockenperiode — und als solche wird immerhin die obige von 153 Tagen angesehen werden können — so wird man auch damit den nötigen Ausgleichraum mit Sicherheit für sonstige Niedrigwasserperioden haben.

Es hätte also eine Talsperre von $\sim$ 55 Mill. cbm Stauraum errichtet werden müssen, wenn man den vorstehend berechneten Ausgleich erzielen wollte.

Wesentlich geringer wird der Raum, wenn man sich mit kleinerem

1) Über die Rentabilitätsberechnungen für diese Talsperrenanlage s. Abschn. IV.
2) S. Zeitschrift für Bauwesen 1903.

Erfolg begnügt z. B. 4,0 cbm sekundlicher Abgabe für Kraftwerke. Man ersieht dies aus folgender Aufrechnung. Es sei der Arbeitstag zu 20 Stunden = 3600 · 20 = 72000 Sekunden angenommen. Ein Wasserabfluß von weniger als 4 cbm war vorhanden vom 27. Juli bis 9. Dezember 1902 d. s. 136 Tage. Unter Berücksichtigung, daß an 20 Sonntagen nur der halbe Bedarf vorhanden sein soll, sind 126 volle Arbeitstage in Ansatz zu bringen. Der Zufluß des Queis in dieser Zeit war 28637000 cbm. Dem gegenüber steht der Wasserbedarf von 126 · 72000 · 4 = 36288000 cbm. Der Stauraum müßte hiernach 36288000—28637000 = 7651000 cbm groß sein, um eine gleichmäßige Abgabe von 4 cbm/sek. zu ermöglichen.

Die im Jahre 1905 fertiggestellte Talsperre hat einen Fassungsraum von 15 Mill. cbm erhalten, wovon 5 Mill. cbm für Kraftgewinnung genutzt werden, während der übrige Teil des Beckens dem Hochwasserschutz dient.

Okertalsperre. Die Abb. 32 stellt den Betriebsplan des geplanten Staubeckens im Okertale (Harz) dar. Das Becken soll der Kraftgewinnung in einem nicht weit unterhalb gelegenen zentralen Kraftwerk, der Aufhöhung des Triebwassers für die Triebwerke an der Oker und Aller und dem Hochwasserschutz dienen. Die Abflußmengen aus dem Niederschlagsgebiet (66,7 qkm) sind ermittelt zu:

	Jahresabflußmenge	sekundl. mittl. Abflußmenge
1901	49,1 Mill. cbm	1,56 cbm
1902	58,3 » »	1,85 »
1903	42,0 » »	1,33 »

Es ist für das Becken zunächst ein Stauinhalt von 22,1 Mill. cbm angenommen.

Die wagerechte Grundlinie der Darstellung gibt die Zeit nach Monaten und Tagen, die senkrechten Ordinaten geben die Wassermengen an. Die täglichen Zuflüsse zum Becken sind zusammengezählt und darnach ist die Zufluß summen-Linie aufgetragen, die in jedem Zeitpunkt unmittelbar den gesamten Zufluß vom 1. Nov. 1901 ab, an dem der Betriebsplan beginnt, erkennen läßt. Neben dem Stauinhalt des Beckens und dem Zufluß aus dem Niederschlagsgebiet tritt als dritte Hauptgröße die Wasserabgabe aus dem Becken für Nutzzwecke auf. Diese Abgabe summiert sich ebenfalls aus der täglichen Abströmung und stellt sich dar

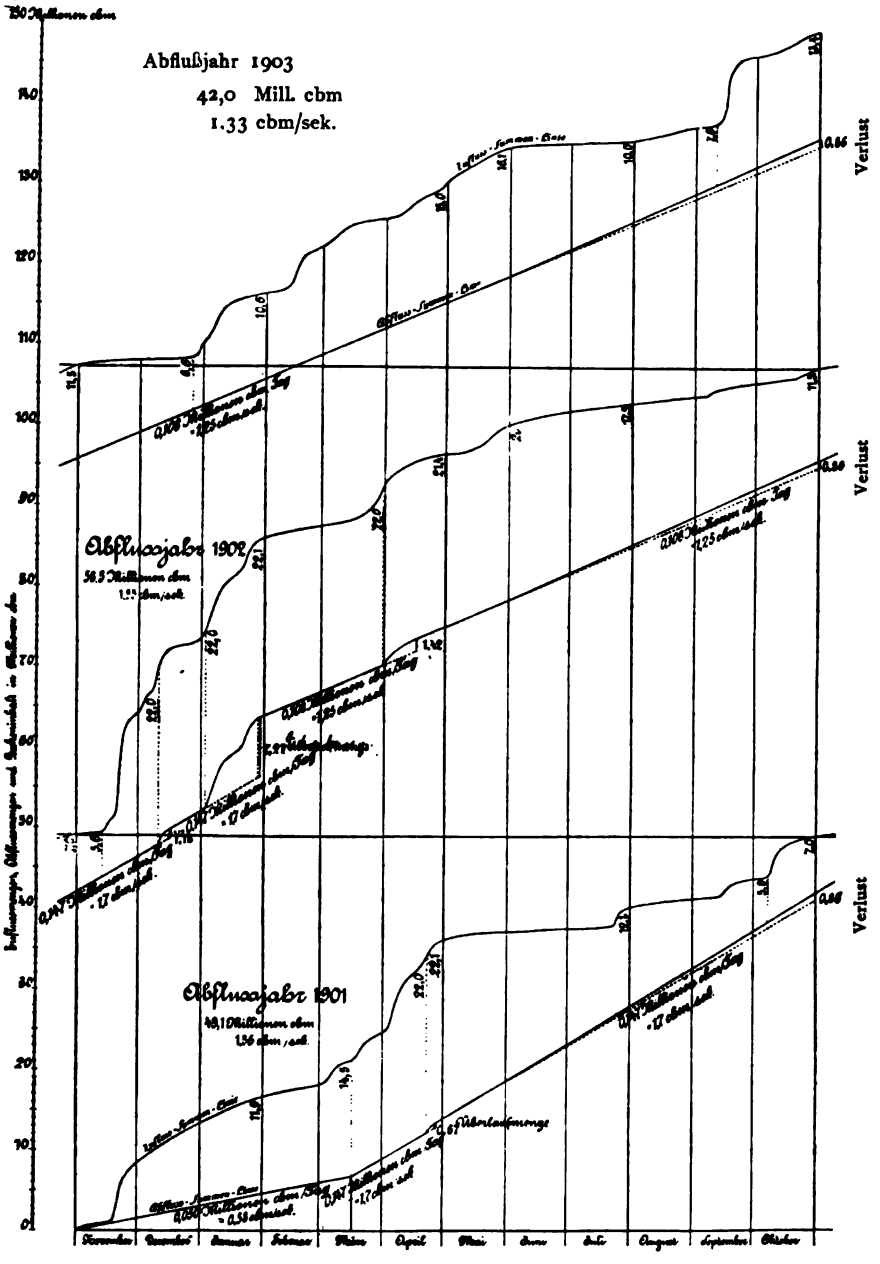


Abb. 32. Betriebsplan für das Sammelbecken im Okergebiet (Harz) für die Abflußjahre 1901 bis 1903 (Entwurf).
Niederschlagsgebiet 66,7 qkm Stauinhalt 22,1 Mill. cbm

als die Abflußsummen-Linie, die in jedem Augenblick den gesamten bisherigen Wasserabfluß aus dem Becken nachweist. Der senkrechte Abstand zwischen den beiden Summenlinien gibt für jeden Tag unmittelbar den Wasservorrat im Staubecken an.

Die nach Maßgabe des natürlich vorhandenen Zuflusses aus dem Niederschlagsgebiet und der gewählten Beckengröße verfügbare Wasserabgabe ist im Wege des Probierens gefunden. Dabei war maßgebend, 1) daß die Wasserabgabe für Triebzwecke eine möglichst gleichmäßige ist — denn hieran hat die Industrie mehr Interesse, als an zeitweilig größeren, aber unbeständigen Kräften — 2) daß möglichst geringe Wassermengen ungenutzt über den Überlauf der Talsperre abfließen und 3) daß die Füllung des Sammelbeckens nicht wesentlich unter 7 Mill. cbm herabgeht, um zu starke Schwankungen der Druckhöhe in den Turbinen zu vermeiden, die den Betrieb des Kraftwerkes ungünstig beeinflussen, wenn zwar durch konstruktive Einrichtungen diesem Übelstand nach Möglichkeit begegnet werden kann.

Es ist zu beachten, daß neben den vorstehend erörterten 3 Hauptgrößen noch einige, wenn auch in ihrer Bedeutung stark zurücktretende Faktoren auf die Gestaltung des Betriebsplanes einwirken. Es sind dies die Wasserverluste im Becken durch Verdunsten und Versickern und durch Überlauf des gefüllten Beckens. Die ersteren Verluste sind im vorliegenden Falle dadurch in Ansatz gebracht, daß der Abgang einer Wasserhöhe von 650 mm im Jahr — auf Grund der Erfahrungen an dem lothringischen Stauweiher von Gunderfingen — in der 132 ha großen Wasserfläche des Beckens angenommen ist. Dieser Verlust von 0,65 · 132 · 10000 = rd. 0,86 Mill. cbm ist auf die trocknen Monate Juni bis Oktober verteilt, und stellt sich, wie aus dem Betriebsplan ersichtlich ist, gleichsam als Wasserabgabe dar. Als solche treten auch die Überlaufmengen auf z. B. in den Monaten April des Abflußjahres 1901, Dezember, Januar und April 1902.

Der Betriebsplan zeigt, daß es möglich gewesen wäre, im Abflußjahr 1901 bis Ende April das Becken völlig zu füllen, ohne den Abfluß ganz zu unterbrechen. Bis Ende Januar des Abflußjahres 1902 können 1,7 cbm/sek. abgegeben werden. Von da an bis Ende 1903 ist die gleichmäßige Abgabe 1,25 cbm/sek. Der Verlauf der Kurven läßt weiter erkennen, daß zu Anfang der sommerlichen Hochwasserzeit — die bedeutendsten Hochwasser der Oker treten in der heißen Jahreszeit,

besonders im Juli auf — im Abflußjahr 1902 der Stauraum bis zu 20 Mill. cbm gefüllt ist. Der für die Aufnahme der Hochfluten notwendige Schutzraum müßte einen Fassungsraum von 8,3 Mill. cbm haben — wie sich aus dem Verlauf der Hochfluten und der Aufnahmefähigkeit der Oker nach anderweiten Ermittlungen ergibt — um die schadenbringende Wirkung der Hochfluten zu hindern. Wenn die vorher ermittelte Nutzwasserabgabe mit Sicherheit auch in trocknen Jahren — wie es z. B. 1903 gewesen ist — erfolgen soll, so müßte der Stauinhalt von 22,1 Mill. cbm um den notwendigen Hochwasserschutzraum von 8,3 Mill. cbm erhöht werden. Geplant ist jedoch, dieses Maß nur auf 26 Mill. cbm zu erhöhen. Bei reichlicher Bemessung der Ablaßvorrichtungen an der Talsperre kann man annehmen, daß es dann möglich sein wird, den Hochwasserverlauf durch rechtzeitiges Ablassen aus dem Becken unschädlich zu gestalten.

Es mag bemerkt werden, daß durch die Abgabe von 1,25 cbm/sek. in dem zentralen Kraftwerk an der Talsperre — bei einem durchschnittlichen Gefälle von 48 m, das sich aus dem Betriebsplane ergibt — 1200 PS. während $14^1/_2$ Arbeitsstunden an 300 Tagen im Jahr gewonnen werden können. Der Gewinn in den Triebwerken an der Oker und Aller gegenüber der gegenwärtigen Nutzung ergibt sich zu 3000 PS. unter den gleichen Betriebsbedingungen[1]).

Das Verfahren, nach dem der Betriebsplan der Okertalsperre aufgestellt ist, läßt nur erkennen, welche Betriebswassermenge bei gegebenem Wasserhaushalt und Stauinhalt zur freien Abströmung gelangen kann. Er hat also nur Bedeutung, sofern es sich darum handelt, die Aufhöhung des Niedrigwassers für die unterhalb gelegenen Triebbäche nachzuweisen. Es tritt hier nur der eine Faktor in die Erscheinung: Die aus dem Becken abströmende Wassermenge. Für ein mit der Talsperre verbundenes zentrales Kraftwerk tritt noch eine weitere Größe in der Rechnung auf, die im Betriebsplane berücksichtigt werden muß: Die Gefällhöhe. Es kann hier die Kenntnis der zu dem jeweiligen Stauinhalt gehörigen Stauhöhe im Becken nicht umgangen werden. Denn das Produkt aus dieser Stauhöhe und der Betriebswassermenge — die Druckhöhe gegebenenfalls noch durch ein Gefälle in einer anschließenden Druckleitung vergrößert — gibt die rohe Leistung Q.h. und an der Turbinenwelle

1) Hochwasser-Sammelbecken im Okergebiet. Jahrbuch für Gewässerkunde Bd. 1. Nr. 3.

die in Pferdestärken ausgedrückte Nutzleistung $\frac{Q.h.\cdot 1000\cdot 0{,}75}{75}$ PS. an. In solchem Falle ist ein Betriebsplan erforderlich, wie er für die Urfttalsperre aufgestellt ist (s. S. 104).

Über die leitenden Gesichtspunkte der Wasserwirtschaftspläne von Staubecken, die neben der Kraftgewinnung für Schiffahrts- und andere Zwecke dienen, s. des Verfassers Schrift: Der Talsperrenbau und die deutsche Wasserwirtschaft (Berlin 1902) S. 34.

B. Das Gefälle.

Allgemeines.

Es ist der Zug der neueren Zeit, hohe Pressungen für die Kraftgewinnung zu verwerten, und es scheint, daß gerade dieser Gesichtspunkt berufen ist, in der Wasserkraftnutzung noch eine erhöhte Bedeutung zu erlangen. Denn bei geringer Wassermenge kann mit einer großen Gefällhöhe immerhin noch eine Leistung erzielt werden, die für den wirtschaftlich praktischen Gebrauch ins Gewicht fällt. Es ist, wie schon oben bemerkt, das größte bisher genutzte Gefälle das der Kraftanlage von Vouvry in der Nähe des Genfer Sees mit 950 m, während in den Niederdruckwerken die Ausnutzung bis auf 0,5 m heruntergeht. In Deutschland sind so hohe Gefälle, die auch nur annähernd an das von Vouvry heranreichten, bisher nicht gefaßt worden. Das größte hier nutzbar gemachte Gefälle besitzt, soviel bekannt, das Kraftwerk der Stadt Nordhausen a. H., wo von der Talsperre bis zu den Turbinen ein Höchstdruck von 192 m zur Verfügung steht[1]).

Das Bestreben, nur große Wasservorräte auszunutzen, läßt leicht den Blick für die untere wirtschaftliche Grenze des Erreichbaren verlieren. Treffend bemerkt mit bezug auf nordamerikanische Verhältnisse Eng. Record[2]): Ingenieure im Osten haben sich so sehr daran gewöhnt von der Wasserkraft zu denken als von etwas, das verbunden ist mit einem umfangreichen Wehr in einem gewaltigen Strom, daß die Möglichkeiten, die ein kleiner Wasserlauf bei großer Gefällhöhe im Gebirge bietet, von ihnen leicht übersehen wird. Diese Worte sollten auch wir für unsere deutschen Verhältnisse beherzigen. Denn auch in deutschen Gebirgen

1) S. Abschnitt Deutschland (VH).
2) 1. 9. 1906.

lassen sich manche kleine Wasserkräfte vorteilhaft erschließen, wofür ein Beispiel das erwähnte Talsperrenkraftwerk der Stadt Nordhausen ist. Frankreich geht in der Nutzbarmachung dieser kleinen Hilfsquellen tatkräftig vor[1]).

Wenn eine Flußstrecke oder ein bestimmter Punkt durch Stauung für die Erschließung einer Wasserkraft geeignet befunden ist, ist es die vornehmliche Sache des projektierenden Ingenieurs neben der Kenntnis der Wassermenge (Betriebswassermenge) das zur Verfügung stehende Gefälle zu bestimmen. Dieser Wert wird — im weitesten Sinne gesprochen — bestimmt durch die Wasserstände oberhalb der Einrichtungen für die Wasserfassung und die des Unterwasserlaufes, in den der Abfluß aus den Turbinen seine natürliche Vorflut findet.

Bei den niederen — etwa durch ein Wehr, einen Betriebskanal oder auch Stollen — erschlossenen Gefällen werden zunächst die Wasserstände im Oberwasser festzulegen sein. Man wird hier einen Normalwasserstand bestimmen, der dann gewöhnlich für die Wehrhöhe maßgebend ist. Es wird oft der Fall sein, daß dieser Wasserstand durch allgemein festliegende Verhältnisse eindeutig gegeben ist. Wo das nicht ist, wird man als diesen Normalstau etwa den Mittelwasserstand ansehen dürfen, wie er durch die Kultur benachbarter Wiesen und Äcker und ihre Höhenlage — also durch die Vegetationsgrenze — gekennzeichnet ist.

Von Bedeutung ist ferner der höchste Wasserstand. Auch dieser wird oft eindeutig festgelegt sein und die Hochwassermarken früherer Hochfluten werden Anhaltspunkte dafür bieten. Einbauten, wie Brücken, gewerbliche Anlagen und andere bauliche Einrichtungen oder landwirtschaftliche Kulturen verbieten es meist, den zukünftigen Wasserstand höher aufsteigen zu lassen, als er bisher gewesen ist. Zwischen diesen beiden Marken M.W. und H.W. darf also im regelmäßigen Betriebe der Wasserstand schwanken und innerhalb dieses Höhenabschnittes wird am Wehr die gesamte Hochwassermenge abgeführt werden müssen. Wenn also die Hochwassermenge Q bekannt ist, so läßt sich nach der Formel

$$Q = {}^2/_3 \mu b h \sqrt{2gh},$$

wo h die eben besprochene Durchflußhöhe bedeutet und μ der Abflußkoeffizient ist, die Wehrlänge b berechnen. Es macht dies oft notwendig, zu Verbreiterungen des Flußbettes zu schreiten, um die

1) Näheres Bresson, La Houille Verte, Paris 1906.

erforderliche Durchflußbreite zu schaffen (Gersthofen). Bisweilen hat man auch die Wehre gekrümmt gemacht, um eine größere Überlauflänge zu schaffen, wie z. B. am Wupperwehr des Solinger Kraftwerkes. Für die Bestimmung der Höhe des Wehrrückens war hier der Umstand maßgebend, daß der bisherige H.H.W. + 89,7 nicht überschritten werden durfte (s. Abb. 33).

Hiernach wurde die Wehrhöhe zu 88,4 angenommen. Die verfügbare Strahldicke ist 89,7 — 88,4 = 1,30 m. Die erforderliche Kronenlänge berechnet sich wie folgt, wenn die Geschwindigkeit des zufließenden Wassers berücksichtigt wird:

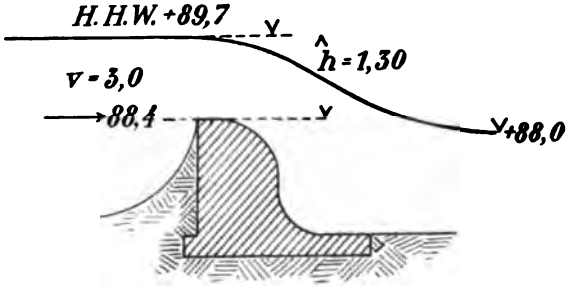


Abb. 33. Zur Berechnung der Wehrbreite.

$$Q = {}^2/_3\ \mu\ \sqrt{2g}\cdot b.\ (h+k)^{\frac{3}{2}}$$

worin $Q = 385$ cbm/sek.

$h = 1{,}30$ m.

$g = 9{,}81$

k = Geschwindigkeitshöhe $= \frac{v'^2}{2g}$ ist, wenn v' die Geschwindigkeit des ankommenden Wassers ist (in m).

Der Durchflußquerschnitt oberhalb des Wehres war ermittelt zu 128 qm, somit

$$v' = \frac{385}{128} = 3{,}00\text{ m}.$$

$$\text{Daraus } k = \frac{3{,}0^2}{2\cdot 9{,}81} = 0{,}46\text{ m}.$$

Bei der glatten stark gerundeten Oberfläche des Wehres wurde ${}^2/_3\ \mu = 0{,}57$ angenommen. Demnach:

$385 = 0{,}57\cdot\sqrt{2}\cdot 9{,}81\cdot b.\,(1{,}30 + 0{,}46)^{\frac{3}{2}}$, woraus $b = 65{,}2$ m folgt.

Die Länge des Wehres wurde hiernach zu 66 m festgesetzt. Zur Erreichung dieser Wehrlänge dient die gekrümmte, parabelartige Form (Abb. 40).

Eine weitere Möglichkeit für den Hochwasserabfluß vermehrten Durchflußraum zu schaffen, besteht in der Anlage beweglicher Wehre:

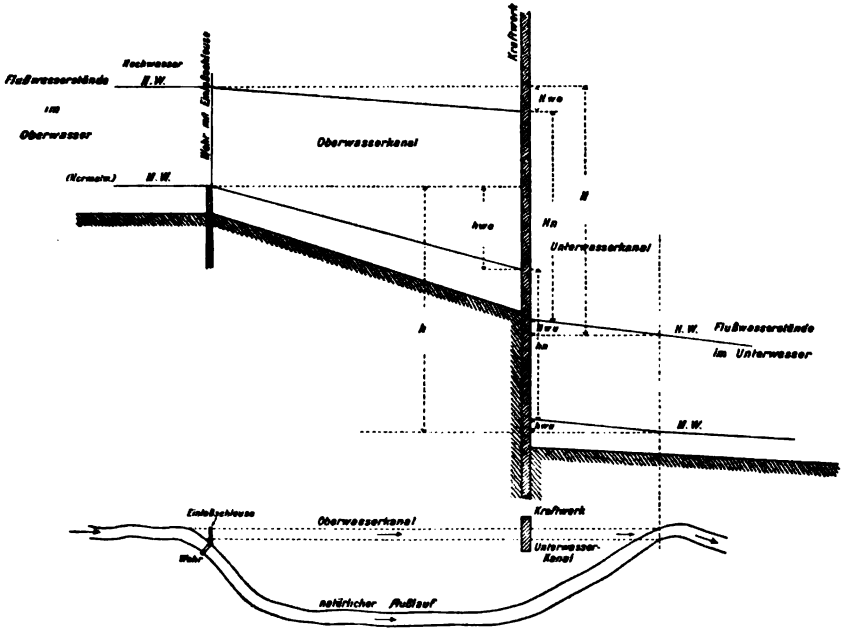


Abb. 34. Schematische Darstellung der Höhenverhältnisse eines Niederdruckwerkes mit Wehr und Betriebskanal.

Nutzbares Gefälle bei Hochwasser $= H_n = H - (H_{wo} + H_{wu})$,
» » » Normalwasser $= h_n = h - (h_{wo} + h_{wu})$,
(w_o und w_u = Gefällverluste im Ober- und Unterkanal),
$H < h$, weil die Wasserstände im U.W. schneller wachsen als im O.W.

Schützen-, Nadel-, Walzen- u. a. Wehre. Diese Wehre werden dann für die Abführung der vermehrten Menge freigemacht. Allerdings ist mit ihrer Bedienung eine stärkere Belastung des Betriebes vorhanden. Selbsttätige Wehre — die sich bei einem bestimmt festzusetzenden Wasserstand von selbst öffnen sollen — haben sich im Betriebe nicht immer bewährt, so sehr sie theoretisch richtig durchdacht und konstruiert waren, und man vermeidet heute, wo angängig, ihre Anwendung.

Im Unterwasser wird der bekannte oder zu ermittelnde Niedrigwasser-

stand bei geringer Wasserführung in trockener Zeit maßgebend und der Hochwasserstand, d. h. jener Flußwasserstand festzulegen sein, der sich einstellt, wenn der Fluß an jener Stelle — der Einmündung des Unterwasserkanals — nach seinen natürlich gegebenen Abflußverhältnissen, Gefälle und Querprofil die größte Hochwassermenge abführen soll. Dies kann, wenn nötig, durch Rechnung geschehen. Oft aber — und dieser Weg erscheint praktischer und empfehlenswerter — wird man bemüht sein, nach bekannten Wasserstandsmarken diesen Höchststau kennen zu lernen. Durch diese Wasserstände im Ober- und Unterwasser ist das dem Normal- und Hochwasserstande entsprechende Gefälle bekannt, das im Kraftwerk nutzbringend verwertet werden kann, wobei naturgemäß noch jenes Gefälle in Abzug kommt, das gebraucht wird, um die Betriebswassermenge im Oberwasserkanal nach dem Kraftwerk hinzubringen und das gleiche Wasser im Unterkanal bis zur natürlichen Vorflut weiter zu fördern.

Die Abb. 34 veranschaulicht schematisch diese Höhenverhältnisse an einem Niederdruckwerk mit Wehr und Betriebskanal im Ober- und Unterwasser.

Die Sohlenlage des Triebkanals wird durch die natürliche Flußsohlenlage gegeben sein. Wenn, wie wir dargestellt, die Wasserstände bestimmt sind, so ergibt sich die Tiefe des Kanals am Einlauf. Die Sohle läßt man im allgemeinen schärfer fallen, als das Wasserspiegelgefälle, um Platz für Ablagerungen am Kraftwerk zu erhalten und auch etwaige Ablagerungen besser dorthin zu fördern. Man arbeitet dann mit einer Staukurve. Bei der Wasserfassung der Hochdruckwerke kann man im Oberwasser in ähnlicher Weise verfahren. Jedoch wird man, wenn es sich um die Erschließung und Fassung eines Wasserlaufes in einem hoch gelegenen und von der Kultur entfernten Gebirgstal handelt, nicht an so enge Grenzen bezüglich des H. W. gebunden sein. Im Unterwasser werden auch hier die durch die Wasserstände einer natürlichen Vorflut gegebenen Höhen bestimmend sein.

Bei einem Stau im Flusse (Chèvres, Zürich, amerikanische Anlagen) fällt der Betriebskanal fort und das nutzbare Gefälle ergibt sich unmittelbar als Unterschied zwischen dem gestauten O. W. und dem natürlichen Unterwasserstand.

Die Gewinnung von Gefällhöhen kann auf folgende Arten geschehen:

1. Durch Zusammenfassung des Talgefälles
   a) durch Aufstauung an Wehren,
   b) in Triebwerkkanälen,
   c) in Stollen,
   d) in geschlossenen Rohrleitungen, oder
   e) in der Vereinigung dieser Mittel.
2. Durch Anzapfung und Aufstauung natürlicher Seen.
3. Durch Aufstauung in Sammelbecken.

Abb. 35. Wasserfassungseinrichtung einfacher Art bei einer amerikanischen Kraftanlage mit Wehr, Einlauf und Einlaufschleuse zum Triebwerkskanal.

Aufstauung an Wehren.

Bei der Aufstauung durch Wehre — die älteste und allgemeinste Schaffung von Nutzgefälle — handelt es sich meist nur um wenige Meter Höhe (Abb. 35). In neuester Zeit ist jedoch dieser Flußstau in stärkerem Maße zur Geltung gekommen bei einigen Ausführungen in Amerika, in der Schweiz und in Frankreich. Dort hat man wehrartige Mauerkörper quer über das Tal gezogen und ein größeres Becken gebildet, weniger zu dem Zwecke des Wasserausgleichs als um Gefälle zu erschließen durch Hebung des Wasserspiegels. Man vermeidet dadurch alle Kosten für einen Betriebskanal. In Frankreich ist eine solche Anlage im Jahre

1902 in dem 20 m hohen Stauwehr von Avignonet im Departement Isère geschaffen worden (Abb. 36)[1]. Es stand hier in Kostenvergleich, ob man das Nutzgefälle von 23 m durch einen 6 km langen Stollen oder durch Stauung des Flusses gewinnen sollte. Die Entscheidung erfolgte zugunsten der Staumauer. Das Becken bietet mit 1 Mill. cbm Fassungsraum daneben noch die Möglichkeit eines gewissen Ausgleichs, denn dieser Vorrat deckt den Bedarf von etwa 10 Betriebsstunden des Kraftwerkes. Die Amerikaner verbauen öfters ihre Flüsse durch hohe Wehre, sei es zum Zwecke der Kraftgewinnung oder um für Bewässerungen die notwendige Gefällhöhe zu erreichen. Man findet solche Anlagen in Kalifornien; unter anderem bietet ein Beispiel das 7,5 m

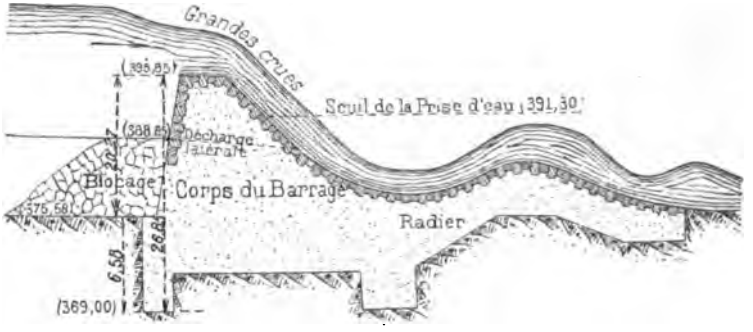


Abb. 36. Querschnitt des Wehres im Drac bei Avignonet.
Stauhöhe: 20 m über Flußsohle. Ausführung in Beton mit Quaderverblendung.

hohe Wehr des Kraftwerkes zu New Milford, Conn. (10500 PS.). In ähnlicher Weise ist am Saludaflusse in der Nähe der Stadt Greenville (Süd-Carolina) eine Stauhöhe von 11 m über N.W. gewonnen[2]. Weitere Ausführungen finden sich zu Spiers Fall am Hudsonfluß (Abb. 37) und am Primerofluß bei Molet in Argentinien (Abb. 38)[3].

Die Anstauung ohne Betriebskanal mittels hoher Wehre wird nur zulässig sein, wo hohe Ufer vorhanden sind, also Überstauungen von Gelände oder schädlicher Rückstau vermieden werden und im allgemeinen auch dort, wo Schiffahrt im Flusse nicht ausgeübt wird, wie zurzeit am

1) Schweiz. Bauz. 1903. und De La Brosse, Les Installations Hydro-Électriques dans la Région des Alpes.
2) Eng. Record v. 6. 10. 06.
3) Zentr. d. Bauverw. 1907. S. 471.

Rhein oberhalb Basel (s. Abb. 39)[1]). Denn die Kosten für die Schiffahrtsanlagen belasten die Kraftwerke wesentlich und können ihre Ausführung leicht unmöglich machen. Außerdem wird man ungern auf den die Schiffahrt störenden Schleusenbetrieb eingehen, wenn auch ohne diese Schleusenstauung die Schiffahrt möglich ist.

Als Wehre sind hauptsächlich zur Anwendung gelangt:

1. Feste Wehre.
2. Feste Wehre in Verbindung mit beweglichen Wehren.
3. Schützenwehre.

Abb. 37. Wasserkraftwerk zu Spiers Fall (Amerika).
24 m Gefällgewinnung durch ein Wehr von 540 m Länge. Kraftleistung 32 000 PS. Oberhalb der Staumauer wird ein Wasservorrat aufgespeichert, der zur Deckung des Kraftbetriebes während 24 Stunden hinreicht.

4. Nadelwehre.
5. Walzenwehre.

Auf die Einzelheiten der Wehrkonstruktionen soll hier nicht näher eingegangen werden. Eingehende Darstellungen über diesen Gegenstand siehe u. a. Handb. der Ing.-Wiss. III. Teil, I. Kap.

Die Wehrlage wird im allgemeinen senkrecht zur Stromrichtung angeordnet. Als Regel ist, wie bemerkt, anzusehen, daß die Wehrkrone auf

1) Die Elektrizitätswerke der Stadt Schaffhausen.

Mittelwasserhöhe, etwa abzüglich der Überlaufhöhe, die der Abfluß des Mittelwassers nötig hat, gelegt wird.

Der Kanaleinlauf zum Wehr wird oft trichterförmig gestaltet Die Kanalsohle liegt im Einlauf in Flußsohlenhöhe oder auch ein wenig höher, um treibenden Kies, Sand, Schlamm usw. vom Eintritt in den Kanal fernzuhalten, falls nicht Kiesfänge angeordnet werden. An dieser Einlaufstelle findet man auch öfters Rechen zur Fernhaltung von treibenden Gegenständen. Immerhin kann diese Maßnahme, die ja an sich

Abb. 38. Das Wehr bei Molet im Primero-Fluß (Argentinien) im Bau.

günstig wirken wird, zweischneidigen Einfluß haben. Falls ein Versetzen des Rechens durch treibendes Strauchwerk, Blätter usw. eintritt, so wird dessen dauernde Reinigung nötig sein (Rheinfelden, Chèvres, Solingen). Diese Arbeit kann dann besonders lästig werden, wenn der Kanaleinlauf weit abliegt. Es kommt somit in Frage, den Rechen erst unmittelbar oberhalb des Kraftwerkes anzuordnen, um den Gesamtbetrieb des Werkes zu zentralisieren. Die Weite des Rechens wird so bemessen, daß kein wesentlicher Aufstau entsteht, bei Feinrechen 25—30 mm, bei Grobrechen entsprechend größer, etwa 10 bis 15 cm.

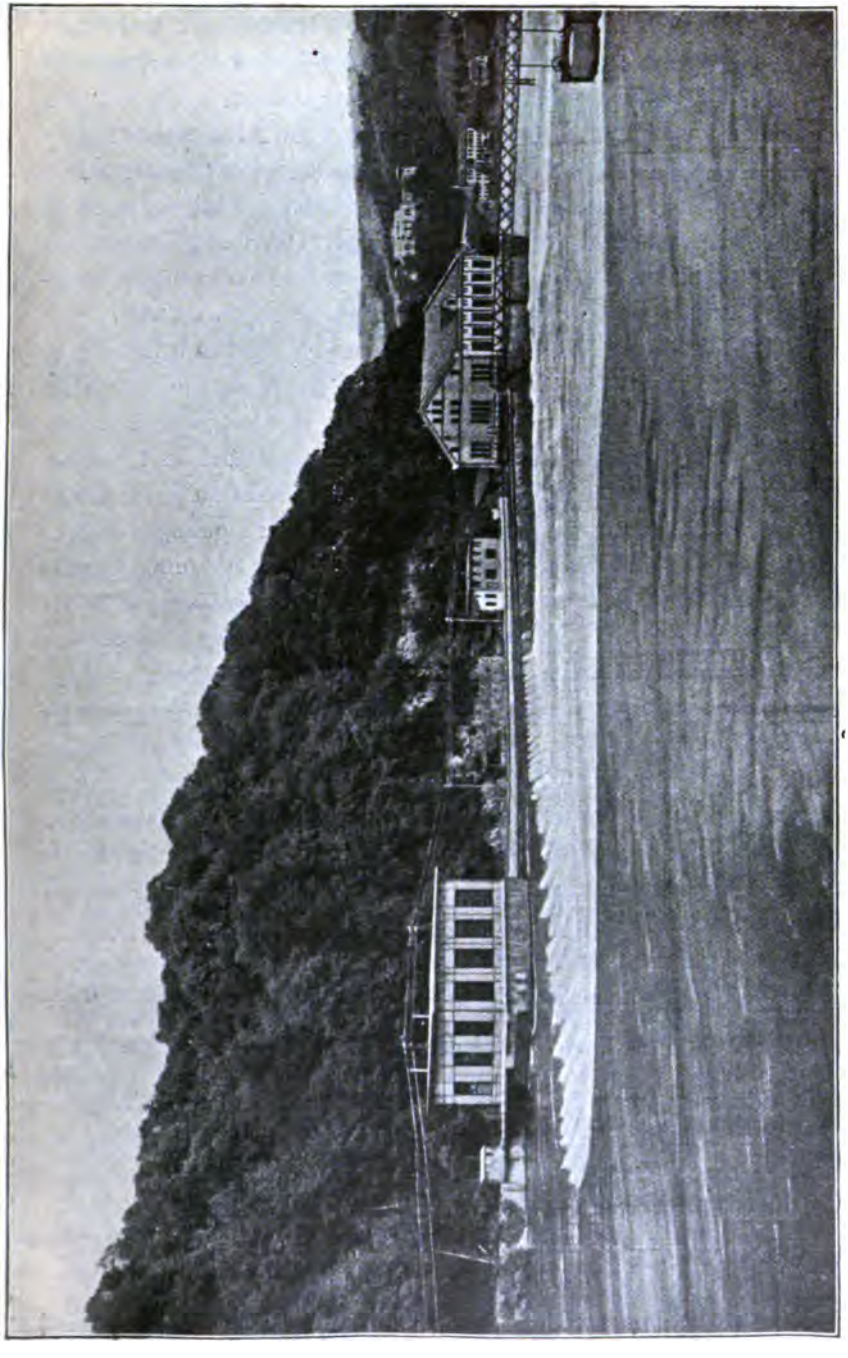


Abb. 39. Ansicht der beiden Kraftwerke des Elektrizitätswerkes der Stadt Schaffhausen a/R. Das obere Kraftwerk hat 1050 PS., das untere Werk 1650 PS. Leistung.

Am Einlauf zum Betriebskanal wird sich oft empfehlen, eine Einlaßschleuse anzuordnen, nicht nur um den Kanal bei Hochwasser und für Ausbesserungszwecke abschließen zu können, sondern auch um den Wasserzufluß zum Kanal zu regeln. Um nun beim Abstellen der Turbinen den Rückstau abzuführen und um neben dem Regulierungsmittel der Einlaßschleuse noch eine selbsttätige Entlastung zu haben, wird oft dicht oberhalb des Kraftwerkes ein seitlicher Überlauf (Rheinfelden Abb. 52) angeordnet, der den höchsten Wasserstand nur in engen Grenzen schwanken läßt und die überflüssigen Wassermengen abführt.

Bei der Kraftanlage San Giovani Lupattoto an der Etsch hatte man von dem sonst üblichen Einbau eines Wehres an der Abzweigung des Betriebskanals Abstand genommen. Es findet hier eine Betriebswasserentnahme von rund $^2/_3$ der Etsch statt (60 cbm) und mit Rücksicht hierauf, sowie auf die erhebliche Breite des Flusses von 100 m an jener Stelle verzichtete man auf das Wehr. Immerhin hat sich gezeigt, daß es schwierig ist, bei N. W. die nötige Wassermenge ohne zu großen Gefällverlust in den Kanal zu bringen. Es hat sich ferner erwiesen, daß das Fehlen einer Wehranlage die Leistungsfähigkeit des Kanals wesentlich beeinflußt und man hat daher das Wehr nachträglich eingebaut[1]).

Aus der oben angegebenen Berechnung der Solinger Wehranlage möge die allgemeine Art solcher Wehrabflußermittlungen entnommen werden. Es soll hier auf diesen Gegenstand nicht weiter eingegangen werden, weil man darüber in allen Handbüchern und Baukalendern das Nötige findet. Es genüge auf die ausführlichen Darlegungen im Handbuch der Ing. Wissenschaften III. Teil, I. Kap., in der Hütte (Ingenieurs Taschenbuch) usw. hinzuweisen.

Folgendes sei nur kurz bemerkt:

Die oben angegebene Formel vereinfacht sich, wenn man k (Geschwindigkeitshöhe $= \frac{v^2}{2g}$) $= 0$ einsetzt. Dies ist zulässig, ohne den Wert der Rechnung wesentlich zu beeinflussen, wenn oberhalb des Wehres eine im Verhältnis zur Wehrbreite große Wasserfläche vorhanden ist (Sammelbecken). Dann rechnet man $Q = {}^2/_3 \mu_1 b h \sqrt{2gh}$.

Es ist $\mu_1 = 0{,}63$ (scharfkant. Überfall)
$= 0{,}73$—$0{,}85$ (abgerundeter Überfall)
$= 0{,}60$ (breit und abgerundet).

1) Schweiz. Bauz. 1907, S. 43.

Für ein Grundwehr gilt, falls die Anfangsgeschwindigkeit vernachlässigt wird, die Beziehung

$$Q = {}^2/_3 \mu_1 b h \sqrt{2gh} + \mu_2 b a \sqrt{2gh}$$

μ_1 wie oben, $\mu_2 = 0{,}62$ bis $0{,}83$, je nachdem die Wehrkrone hoch über der Sohle liegt oder sich der letzteren nähert.

Falls die Anfangsgeschwindigkeit nicht vernachlässigt werden darf, ist

$$Q = \tfrac{2}{3} \mu_1 b \sqrt{2g} \left\{(h+k)^{\frac{3}{2}} - k^{\frac{3}{2}}\right\} + \mu_2 b a \sqrt{2g}\sqrt{h+k}$$

μ_1 u. μ_2 wie oben.

Einige Beispiele von Wehreinrichtungen mögen an ausgeführten Anlagen erläutert werden.

Die Anlagen zur Wasserfassung beim Wasser- und Elektrizitätswerk der Stadt Solingen. Das Wehr (Abb. 40) hat eine im Grundriß gekrümmte Form, die sich aus zwei Geraden von je rd. 16 m Länge und einem in der Mitte eingeschalteten Bogenstück von 18 m Halbmesser zusammensetzt. Die Form ist damit annähernd die einer Parabel. Es war die Forderung zu erfüllen, daß die größte bekannte Abflußmenge der Wupper von 385 cbm in der Sekunde darüber hinwegfluten konnte, ohne daß der bisherige Hochwasserspiegel gehoben wurde (s. S. 126). Die Bauart des Wehres ist eine massive. Auf der linken Hälfte ist das Wehr unmittelbar auf den Fels, auf der rechten Seite im Kiesboden zwischen Spundwänden auf Betonunterlage gegründet (s. Abb. 41). Der Wehraufbau besteht aus einem Kern mit abgerundeter Krone, starkem Abfall und anschließendem Sturzbett von 3,50 m Länge. Hinter diesem Sturzbett liegt eine Steinpackung von 5 m Länge, die in der Abflußrichtung etwas ansteigt, um die Gewalt des abströmenden Wassers zu mildern.

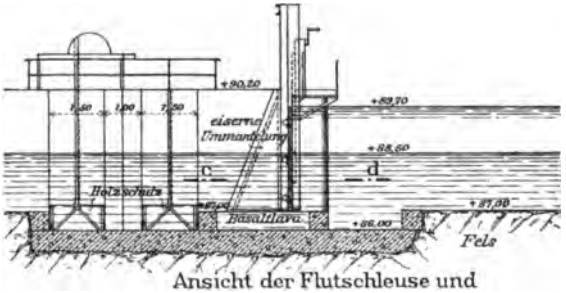
Die Einlaßschleuse im Anschluß an das linksseitige Ende des Wehres (Abb. 42 und 43) eröffnet den Zugang zum Betriebskanal. Die Schleuse, für welche der Raum durch Aussprengung in dem vorspringenden Felskopf gewonnen wurde, besteht aus vier Öffnungen von je 2 m l. W. Die trübe Beschaffenheit des Wupperwassers machte es notwendig, eingehende Vorsichtsmaßregeln zur Beseitigung der am Kanaleinlauf im besonderen Maße zu erwartenden Schlammablagerungen zu treffen. Es ist deshalb oberhalb des Einlaufs eine Rinne von 2 m Breite und 0,50 m Tiefe eingelegt. Durch Ziehen eines im linken Wehrpfeiler gelegenen Schützes erfolgt die Spülung. Diese Schleuse dient bei Hochwasser zugleich als Entlastungsschleuse. Hinter den Schützpfeilern befindet sich ebenfalls eine Rinne von 4 m Breite und 0,5 m Tiefe, welche durch Ziehen von Schützen gereinigt werden kann. Die drei Spülschleusen von je 1,50 m Breite und 60 cm Höhe werden durch Schütztafeln aus 8 cm starken eichenen Bohlen abgeschlossen. Die Öffnungen sind durch eiserne I-Träger überdeckt und überbetoniert.

Die Mittelpfeiler der Einlaßschleuse sind in genietetem Schmiedeeisen hergestellt. Es geschah dies, um Raum zu sparen. Die Pfeiler werden gebildet aus einer schmiedeeisernen Ummantelung, deren Innenraum zur Erzielung größeren Gewichts mit Beton ausgefüllt ist. Die Schütztafeln bestehen aus eichenen Bohlen von 8 cm Stärke. Zur leichteren Bedienung der 2,20/2,70 m großen Tafeln sind diese als Rollschütze ausgeführt.

Wasserfassung der Elektrizitätswerke in Gersthofen (Abb. 44). Zur Entnahme des Betriebswassers aus dem Lech wurde bei Gersthofen ein festes Stauwehr von 80 m freier Gesamtbreite eingebaut. Das Wehr besitzt einen 58 m langen

Überfallrücken, 8 m breiten Grund- und Kiesablaß, $1^1/_2$ m breiten Fischpaß und eine $12^1/_2$ m breite Floßgasse.

Die Anlage des Wehres mußte derart erfolgen, daß sich der Aufstau im Lech bei



Ansicht der Flutschleuse und

Schnitt durch die Einlaßschleuse im Obergraben. 1:200.

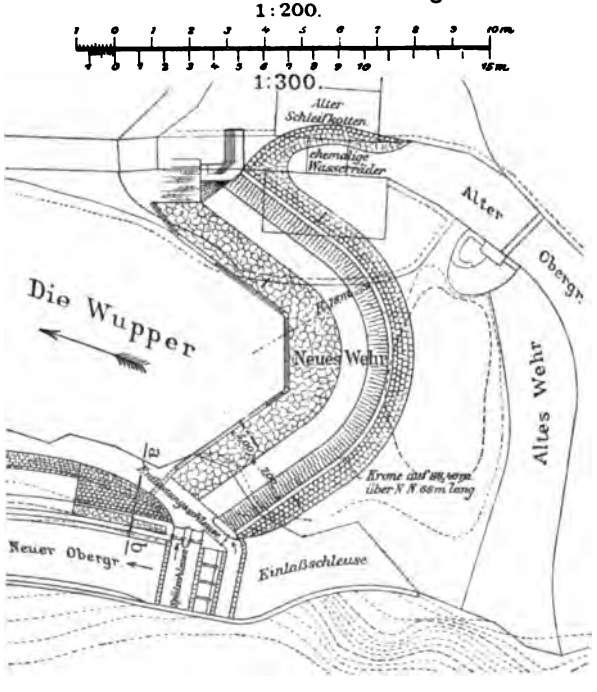


Abb. 40. Wehr mit Einlaß-, Flut- und Spülschleusen zur Beseitigung von Schlammablagerungen (Elektrizitätswerk Solingen).

Hochwasser nur bis zur Wertachmündung, d. i. etwa $1^1/_2$ km flußaufwärts, erstrecken kann.

Oberhalb des Wehres ist am linken Flußufer das Einlaufbauwerk zur Ableitung des Betriebswassers nach dem Kanal angeordnet und 80 m flußaufwärts eine Schleuse für die

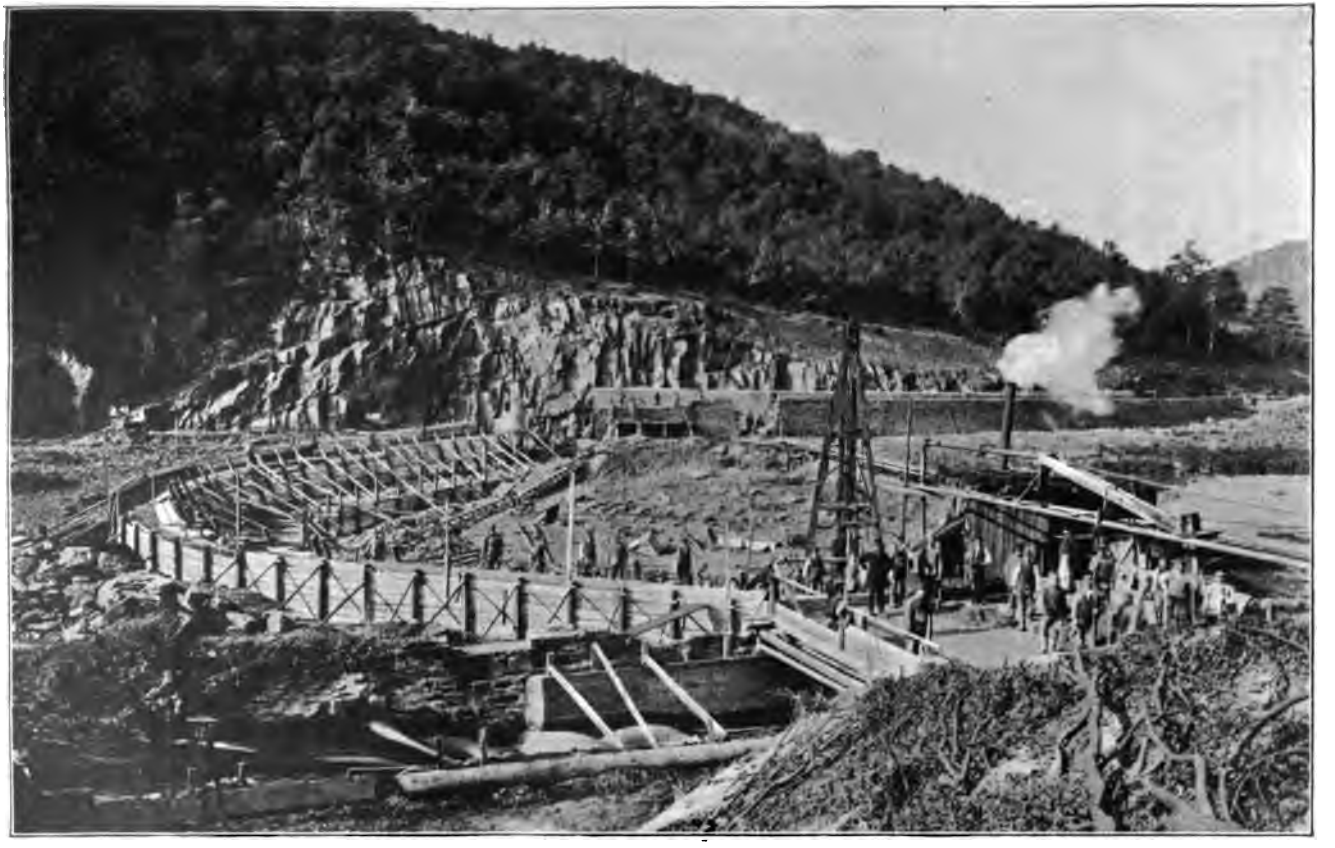


Abb. 41. Bau des Betonwehres in der Wupper für das Elektrizitätswerk der Stadt Solingen.
Der Wehrkörper ist auf der einen Flußhälfte auf Fels, auf der andern Hälfte auf Kiesgrund zwischen Spundwänden gegründet.

Einfahrt der Flöße in den Kanal, da zur Zeit der niedrigsten Flußwasserstände die Floßgasse geschlossen wird und die Flöße dann durch den Kanal geführt werden müssen.

Für die Anlage des Wehres war das Lechbett an der Baustelle von der normalen Breite von 60 m auf 85 m zu erweitern. Dieses geschah durch allmähliche Überführung der Uferlinien oberhalb und unterhalb des Wehres auf je 200 m Flußlänge. Die Wehrlinie läuft senkrecht gegen die Uferlinien an, was durch bogenförmige Anordnung des Überfallwehres in der Horizontalen erreicht wurde.

Der Grund- und Kiesablaß kann durch zwei je 4,0 m breite und 2,0 m hohe Fallen abgeschlossen werden.

Abb. 42. Wehr in der Wupper mit Einlaßschleuse zum Betriebskanal für das Wasser- und Elektrizitätswerk der Stadt Solingen.
Wehr aus Beton: 66 m lang. Gewonnenes Nutzgefälle: 5 m.

Die Floßgasse dagegen ist an ihrem Einlauf mittelst einer über ihre ganze Breite reichenden eisernen Falle abschließbar, wodurch es möglich gemacht ist, das gesamte Wasser des Flusses, ausschließlich der durch den Fischpaß fließenden Menge, nach dem Kanal abzuleiten.

Die Wassertiefe über der Einlaufschwelle beträgt mindestens 50 cm; bei dieser Wassertiefe können die im Lech verkehrenden maximal 7 m breiten Flöße die $12\frac{1}{2}$ m weite Floßgasse leicht passieren.

Für die Einlaßschleuse zum Triebwerkskanal wurde eine Breite von 28 m gewählt. Bei dieser Breite ergibt sich ein sehr geringer Gefällverlust für das in den Kanal ein-

tretende Wasser. Den Verschluß bilden sechs Doppelfallen aus Holz, bei welchen die unteren Fallenteile durch zwischen die Balken eingelegte I-Eisen verstärkt sind. Über den Fallen ist ein fester Hochwasserschild vorhanden.

Die unteren 1,0 m hohen Fallenteile — die Grundfallen — bleiben bei höheren Wasserständen geschlossen, wodurch das Geschiebe vom Eintritt in den Kanal abgehalten wird.

Sollte bei Hochwasser doch noch Kies in den Kanal gelangen, so ist für dessen Abführung durch eine Schleuse mit Ablaßkanal nach der Floßgasse, und damit zum Lech zurück, gesorgt.

Die Floßeinfahrtschleuse hat 10 m Weite, ihr Abschluß erfolgt mittels zweier 5 m breiten, hölzernen Fallen. Die in der Mitte der Schleusenöffnung angeordnete Griessäule

Abb. 43. Einlaßschleuse zum Betriebskanal (8 m breit) mit Rollschützenabschluß und Windwerk. Rechts Spül- und Entlastungsschleuse. (Elektrizitätswerk Solingen.)

kann ebenso wie die Fallen hochgezogen werden, wodurch die Einfahrt in ganzer Breite freigelegen ist[1]).

Die Anlagen für die Wasserfassung des Elektrizitätswerkes Wangen a. d. Aare (Abb. 45). Für die Einrichtung des nach der Konzession gestatteten Wehres waren folgende Erwägungen maßgebend. Es erschien zulässig, das N. W. um 1,53 m anzustauen, während für das höchste HW. nur 0,5 m Erhöhung des angestauten Wasserspiegels erlaubt war. Demzufolge ist das Wehr so eingerichtet, daß bei NW. die genehmigte Höhe vorhanden ist, bei HW. aber der Querschnitt soweit freigelegt werden kann, daß ein Durchfluß von 1600 cbm/sek. höchstens eine Anstauung von 50 cm gegenüber dem bisherigen HW. erzeugt.

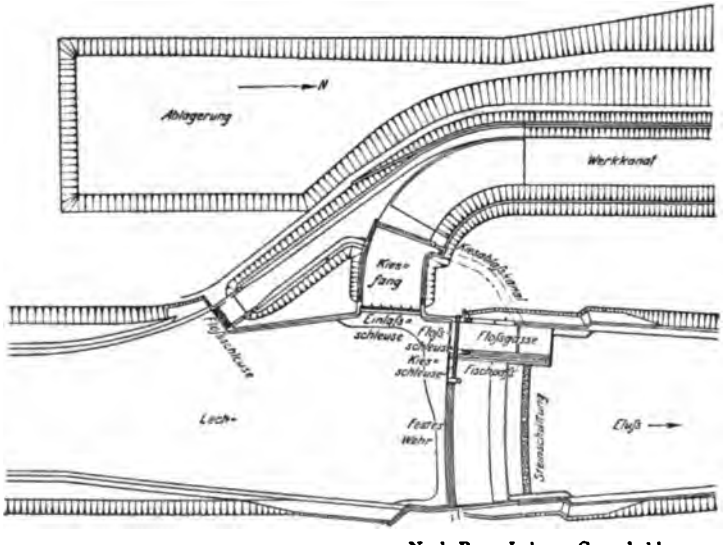
Hiernach gelangte man zur Teilung des Wehres in ein festes und in ein bewegliches

1) Nach Bayer. Industrie- und Gewerbeblatt 1904.

Wehr von entsprechender Leistungsfähigkeit. Den verschiedenen Zwecken entsprechend ergaben sich ferner drei wesentlich verschiedene Teile des Wehres, nämlich: das eigentliche Stauwehr, der Grundlauf und die Floßgasse. Auf dem festen Wehrrücken sitzen bewegliche eiserne Schütze auf.

Für die Wahl eines Schützenwehres war bestimmend, daß ein solches erfahrungsgemäß den dichtesten Abschluß für eine Stauvorrichtung bildet, außerdem leicht und rasch zu bedienen ist und sich bei dem Elektrizitätswerk Wynau durchaus bewährt hat.

Auf der rechten Uferseite ist eine Floßgasse von 15 m l. W. angelegt, deren Öffnung durch ein einziges Schütz von gleicher Breite und von 1,20 m Höhe verschlossen werden soll. In das linke Widerlager neben dem Grundlauf ist ein Fischpaß eingebaut, der hierhin



Nach Bayr. Ind.- u. Gewerbebl. 1904.

Abb. 44. Wehr mit Einlaßschleuse, Kiesfang und Kiesschleuse für geschiebeführenden Fluß (Elektrizitätswerk Gersthofen).

verlegt wurde, weil zu erwarten steht, daß der Stromstrich und damit die Fische sich nach dem Grundlauf hinziehen werden.

Das durch das Wehr aufgestaute Wasser tritt durch das Einlaufbauwerk in den Kanal ein. Die Achse des Einlaufes zweigt von der Stromrichtung in einem Winkel von rd. 70° ab (vergl. den Lageplan Abb. 45). Diese Ablenkung ist kräftig genug, um den Kieseinzug nach dem Einlaufbauwerk in wünschenswertem Maße abzuschwächen. Zur weiteren Sicherheit gegen das vom Strom gebrachte Geschiebe ist die Schwelle des Einlaufes um rd. 1 m über die Sohle des Grundlaufes erhöht. Dicht hinter der Öffnung ist eine Schleuse eingebaut, die aus 6 Öffnungen von zusammen 30 m Weite besteht.

Hinter der Schleuse fällt die Sohle wiederum bis auf die Tiefe der Grundlaufsohle, um weiterhin in schwachem Gefälle nach der Aare hin zu verlaufen. Hierdurch ist ein Kiesfang gebildet, in dem die im Wasser mitgeführten Sinkstoffe sich vor dem Eintritt in den Kanal größtenteils ablagern. Die Mündung des Kiesfanges nach dem Fluß wird in

der Regel durch eine Schleuse von 25 m Weite verschlossen gehalten. Sie liegt mit ihrer Oberkante 40 cm über der genehmigten Stauhöhe des NW. Sobald daher das Wasser hinter der Einlaufschleuse sich höher einstellen sollte, wirkt die 25 m breite Kiesschleuse selbsttätig als Überfall. Die in der Regel geschlossene Kiesschleuse wird bei Anschwellungen und insbesondere bei HW. zur Vergrößerung des Durchfluß-Querschnittes beliebig weit geöffnet.

Auf der kanalwärts gelegenen Seite des Kiesfanges befindet sich in der Sohle wieder ein Absatz von rd. 1 m, wodurch eine weitere Einlaufschwelle nach dem eigent-

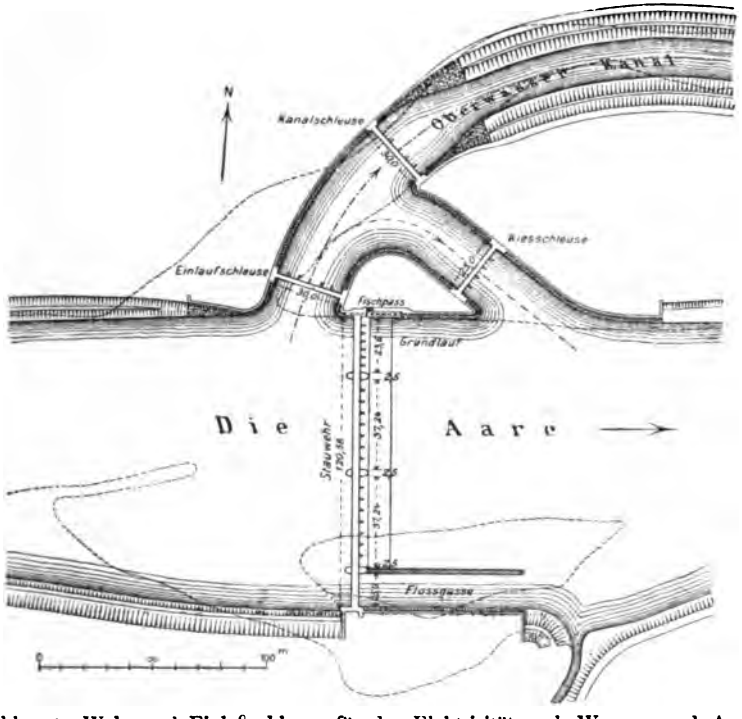


Abb. 45. Wehr und Einlaßschleuse für das Elektrizitätswerk Wangen a. d. Aare (Schweiz).

lichen Triebwerkskanal entsteht. Hinter dieser Schwelle liegt abermals eine Schleuse von derselben Konstruktion wie die Einlaufschleuse vorn am Strome, und erst hinter dieser Schleuse beginnt der Kanal selbst. Mit dieser Einrichtung läßt sich bei H.W. vermeiden, daß zu viel Wasser in den Kanal eintreten und hier Zerstörungen an den Uferwänden oder an der Sohle anrichten kann. Außerdem ist es bei richtiger Bedienung der Schleusen unbedingt ausgeschlossen, daß treibende Gegenstände vom Fluß in den Kanal gelangen können; ebenso ist der Kieseinzug, soweit überhaupt möglich, verhindert[1]).

Wasserfassung des Kraftwerkes der Ontario Kraftgesellschaft an den

1) Deutsche Bauz. 1903.

Niagarafällen. Wie aus Abb. 46 ersichtlich, wird das Wasser dem Fluß bei den Dufferin-Inseln oberhalb des Falles entnommen. Dort wird durch einen Damm von rd. 235 m Länge, welcher mit einem Bogen von 90 m Halbmesser an das Ufer anschließt, ein äußeres Einlaufbecken gebildet. Der Damm ist aus Eisenbeton hergestellt und hat an der Krone 1,37 m, am Fuß etwa $3^1/_2$ m Stärke. Das Maß von der Krone bis zur Sohle beträgt innerhalb des Beckens rd. 4,3 m, gegen den Fluß zu rd. 2,9 m.

Eine der Hauptaufgaben für die Erbauer bestand darin, das Treibeis, welches der Niagara im Winter in großen Mengen führt, vom Einlaufbecken fernzuhalten. Zu dem Zweck ist das Becken wasseraufwärts gegen die oberen, eisführenden Wasserschichten durch eine Wand abgeschlossen, welche rd. 1,5 m unter den Oberwasserspiegel taucht und von da bis zur Sohle nur eine Öffnung von 1,83 m Höhe freiläßt. Diese Tauchwand von

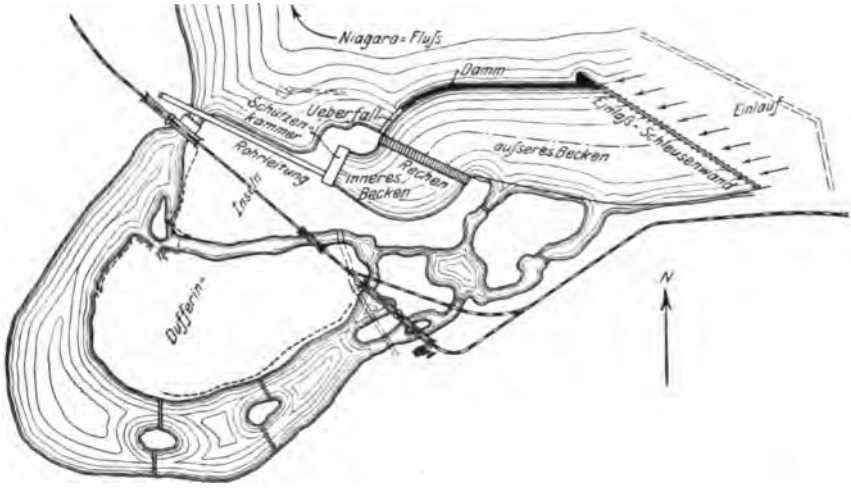
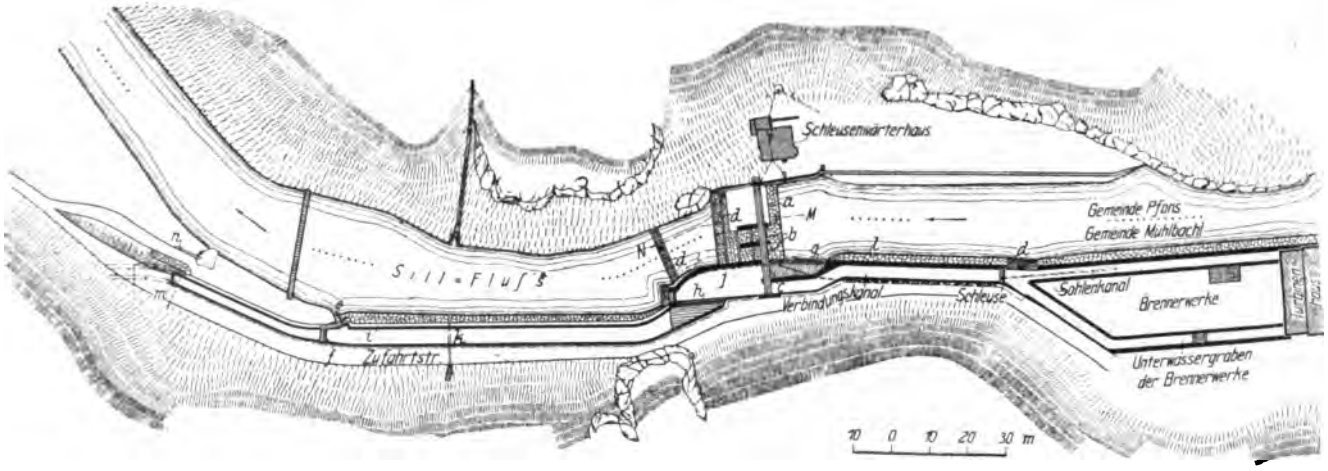


Abb. 46. Einrichtungen für die Wasserfassung beim Kraftwerk der Ontario-Kraftgesellschaft an den Niagarafällen.

ungefähr 185 m Länge wird in Abständen von rd. 7,3 m von 1,22 m starken Betonpfeilern getragen, so daß sich 25 Durchflußöffnungen von je 6,1 m Breite und 1,83 m Höhe ergeben, die einzeln durch Schleusen verschlossen werden können. Die Wand ist unter 45° bezw. 135° gegen die Richtung der Wasserströmung geneigt, damit das antreibende Eis seitlich abgleitet und dem Fluß wieder zugeschoben wird.

Ehe das Wasser durch die Rechen strömt, muß es eine scharfe Kurve beschreiben, wodurch etwa doch mitgerissenes Treibeis voraussichtlich nach außen geschleudert werden und über die vor dem Rechen als Überfall ausgebildete Außenmauer in den Fluß fallen wird.

Durch den Rechen, vor dem ein Kies- und Sandfang mit Ablaßvorrichtungen angebracht ist, gelangt das Wasser in das sogenannte innere Becken, das eigentliche Wasserschloß, beschreibt abermals eine Kurve von 90° und strömt schließlich in die Rohrleitungen, deren jede durch ein Schütz dicht abgeschlossen werden kann. Die Schützentafel ist als Hohlkörper aus Blech konstruiert und hat eine wasserbenetzte Fläche von $5^1/_2$ m im Geviert, also über 30 qm Querschnitt. Sie läuft auf Rollen, ist durch Gegengewichte ausge-



a Grundwehr	**d** Steinkasten	**g** Grobrechen	**j** erster Sandfang	**m** Stolleneingang
b Hochwasserschleuse	**e** Kanalablaßschleuse	**h** Feinrechen	**k** zweiter »	**n** Fußmauer
c Einlaßschleuse	**f** Kanaleinlaufschleuse	**i** Ueberfallmauer	**l** Steinvorgrund	

Abb. 47. Lageplan der Wasserfassungsanlagen für die Sillwerke bei Innsbruck.

glichen und wird elektrisch angetrieben. Hier beginnt der ungewöhnliche und großartige Teil der Wasserzuleitung, bestehend aus 3 Rohren von $5^1/_2$ m l. W., die im vollen Ausbau zusammen bis zu 360 cbm/sek. Wasser rd. 1850 m flußabwärts befördern. Diese ungeheuren Rohrstränge sind in der Erde verlegt und haben ein Gesamtgefälle von $8^1/_2$ m, das zur Erzielung der größten Durchflußgeschwindigkeit von rd. 5 m/sek. erforderlich ist. Ursprünglich wollte man die Rohre in Holz ausführen; doch wurde dieser Gedanke mit Rücksicht auf die Gefahren bei Bruch einer Daube wieder aufgegeben.

Der erste Strang wurde an Ort und Stelle mittels pneumatischer Nietmaschinen aus Stahlblechen von 12 mm Dicke zusammengenietet und mit Spezialeisen, die ähnlich wie Eisenbahnschienen gestaltet sind, versteift; s. Abb. 84. Die Länge der Schüsse beträgt rd. $2^1/_2$ m. Der ganze Strang ist in Beton von 46 cm Stärke unten, 61 cm oben und rd. 90 cm zu beiden Seiten eingehüllt.

Abb. 48. Ansicht der Wehranlage mit Hochwasserschleuse und erstem Sandfang für die Sillwerke bei Innsbruck.

Die Energie der ungeheuren Wassermassen, die sich in den Rohren mit großer Geschwindigkeit bewegen, mußte im Falle plötzlicher großer Entlastungen den Druck in solchem Maße steigern, daß die Leitungen zersprengt werden würden. Die Hauptrohre sind deshalb an ihren unteren Enden nicht geschlossen, sondern enden in einen aus Beton hergestellten Überlauf, der augenblicklich überschüssiges Wasser durch einen Tunnel in den Fluß führt[1]).

Anlagen für die Wasserfassung bei den Sillwerken. Die für die Sillwerke ausgenutzte Gefällstufe des Flusses beginnt am Krafthaus der Brennerwerke und hat bei einer Leitungslänge von rd. 8 km ein Gefälle von 195 m. Bei 4 cbm Wasser gibt das eine

1) Nach Z. d. V. d. Ing. 1905. Vgl. auch Zentr. d. Bauverw. 1906, S. 301 und Eng. Rec. u. Eng. News 1903, 1904 u. 1905.

Mindestleistung von rd. 7500 PS., bei einem Mittelwasser von 7,5 cbm über 13000 PS. Obschon die Geschiebeführung des Sillflusses ziemlich bedeutend ist, wird sie doch durch mehrere Seen im oberen Flußgebiete, die als Klärbecken dienen, gemildert; grobes Geschiebe führt die Sill unterhalb Matrei nicht mehr mit. Der Fluß und seine Seitenarme verlaufen fast durchweg im Urgebirge, und daher ist der mitgeführte Sand ziemlich quarzreich. Die Eisverhältnisse des Flusses sind im allgemeinen nicht ungünstig.

Die wasserbaulichen Teile des Werkes sind für eine Wassermenge von 8 cbm/sek. bemessen, die, wie oben erwähnt, während des größten Teiles des Jahres der Sill entnommen werden kann. Es war für den Ausbau der hydraulischen Anlagen auf die Eisverhältnisse der Sill und auf möglichste Entsandung des Wassers Bedacht zu nehmen, da erfahrungsgemäß der quarzhaltige Sillsand zur raschen Abnutzung der Turbinenschaufeln Veranlassung gibt. Wie die Abb. 47 u. 48 dartun, besteht die Wasserfassung aus einem

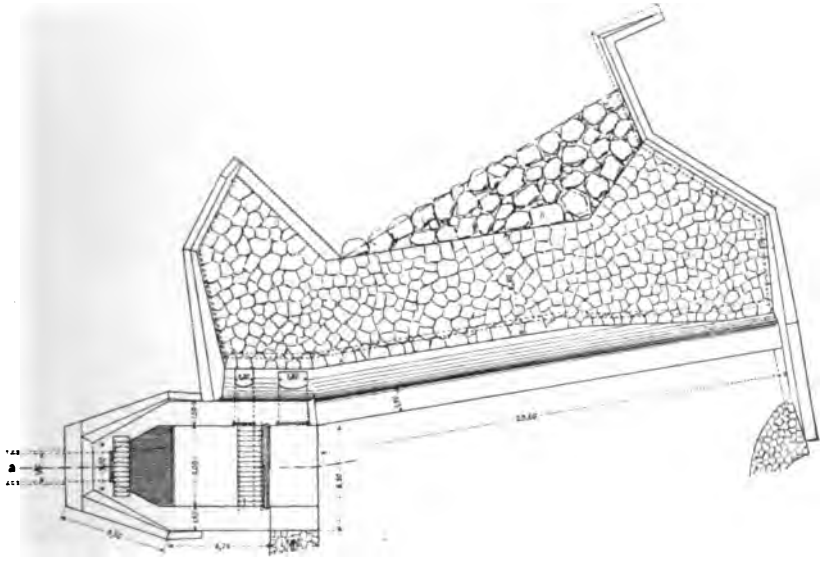


Abb. 49. Die Wasserfassung für das Elektrizitätswerk Kubel bei St. Gallen.

Grundwehr, daran anschließenden Hochwasser- und Schotterschleusen, 2 Sandfängen und den erforderlichen groben und feinen Rechen, Schleusen usw.

Die Hochwasserschleusen sind als Doppelschleusen zum Heben und Senken ausgebildet, damit insbesondere die angestauten Eisschollen und die zerkleinerten Eisstücke abgeschleust werden können. Seitlich vom Wehr ist ein Haus mit einer Wohnung für den ständigen Schleusenwärter sowie einer Kesselanlage errichtet. Die letztere dient zur Herstellung heißen Wassers, das in isolierten Rohrleitungen zu den Schleusen geleitet wird, um dort Vereisungen an den Aufzügen auftauen zu können. Das Eindringen von groben Geschieben in die Kanalleitung wird durch den Grobrechen und dessen Fußmauer, die 1,20 m über die Bachsohle emporsteht, verhindert. Dieses Geschiebe kann durch die Hochwasserschleuse ununterbrochen angetrieben werden.

Zur Ablagerung der feineren Sinkstoffe schließt sich an die Wehranlage ein breiter

Sandfang an; der obere Teil des Zuleitungskanales ist ebenfalls als Sandfang ausgebildet. Als dritter Sandfang wirkt der Behälter des Wasserschlosses am Stollenende.

Holz und andere Schwimmkörper werden durch eiserne Rechen von 30 und 15 mm Maschenweite verhindert, in den Kanal einzudringen[1]).

Die Anlagen zur Wasserfassung beim Elektrizitätswerk Kubel. Das Wehr ist in einfachster Weise als massives Überfallwehr aus Zementbeton ausgeführt (Abb. 49) und auf Fels fundiert. Flußabwärts sind die Ufer auf eine kurze Strecke durch Flügelmauern geschützt und das Wehr selbst durch ein etwa 1 m starkes, in Mörtel gelegtes Fallbett gegen Unterspülen gesichert.

Zum Zwecke der Ausspülung ist unmittelbar vor dem Einlauf im Wehrkörper ein

Abb. 50. Wehranlage für das Elektrizitätswerk der Papierfabrik Albbruck (Schwarzwald).

Grundablaß eingebaut mit einer Falle, die bei jedem großen Wasserstand geöffnet wird und so den Raum vor dem Einlauf stets von Kies und Schlamm freihält. Hinter der 5 m breiten zweiteiligen Einlaufschütze ist ein kleiner Vorbehälter hergestellt worden, der wieder durch eine Schlammfalle ins Flußbett entleert werden kann. Der Stolleneinlauf ist durch eine weitere Falle abschließbar und durch einen schief liegenden Rechen aus Flacheisen mit 20 mm Stababstand geschützt. Ein grober, senkrecht stehender Rechen aus Rundeisen mit 40 mm Weite ist auch unmittelbar vor dem Haupteinlauf vorhanden[2]).

Die Wasserfassungsanlagen für das Elektrizitätswerk Albbruck (Papierfabrik) im Schwarzwald. Das Wehr ist ein gewöhnliches Überfallwehr mit Betonkern und Granitquaderverkleidung. Mit Rücksicht auf das plötzliche und stoßartige

1) Nach Z. d. V. deutsch. Ing. 1906 und örtlicher Besichtigung.
2) Nach Schweiz. Baug. Bd. XLIII.

Auftreten der Hochwasser, das viel Treibholz, Sträucher, ganze Baumstämme und Sägehölzer mitbringt, wurde ein Überfallwehr mit fester, abgerundeter Krone einem Wehr mit künstlicher, niederlegbarer Stauvorrichtung vorgezogen. Da die Alb keine große Geschiebeführung zeigt, so finden wehraufwärts auch keine schädlichen Geschiebeanhäufungen statt.

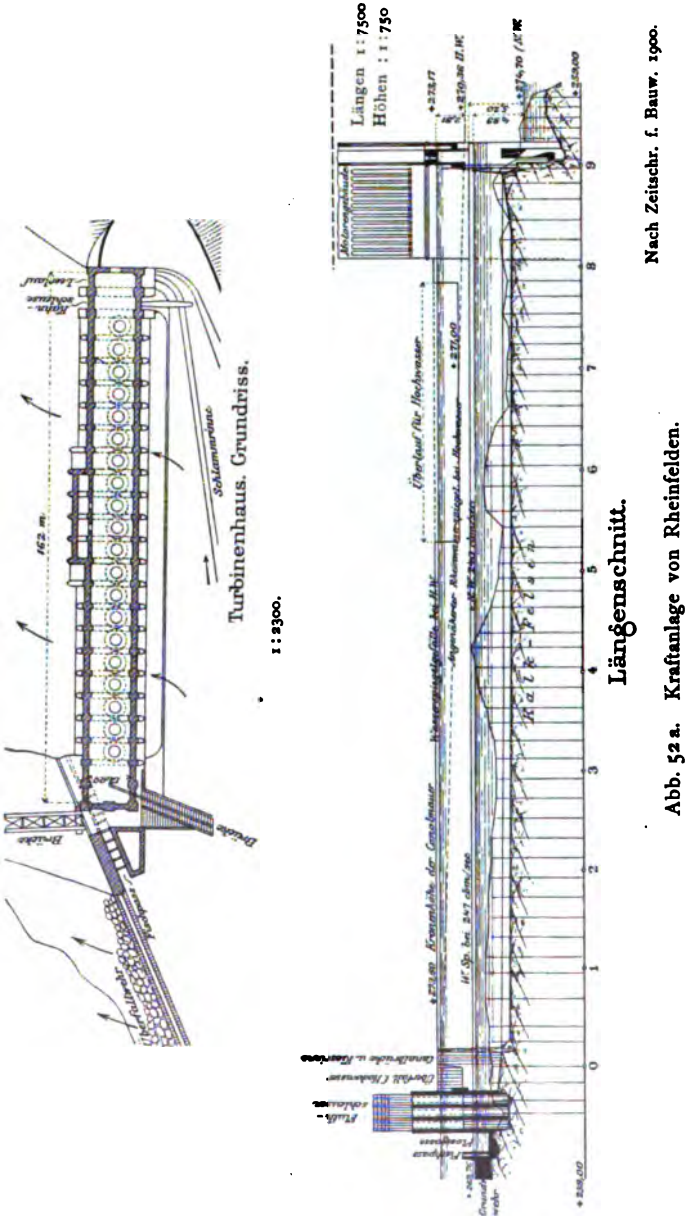
Die Abbildung 50 gibt in der Ansicht die allgemeine Anordnung der Wehranlage.

Abb. 51. Betriebskanal vom Wehr zum Kraftwerk der Stadt Solingen.
Länge: 1170 m. Sohlenbreite: 8 m. Sohlengefälle: 1 : 1000. Wasserführung i. M.: 12 cbm/sek.

Das überfallende Wasser stürzt vorerst auf ein Sturzbett von 5 m Breite und massiver Betonsohle, um Auskolkungen unmittelbar vor dem Wehrkörper zu verhindern. An der rechtsseitigen Wehrwand wurde eine gemauerte Fischtreppe angebracht.

Linksseitig schließt sich an das Wehr der offene Teil des Einlaufkanals an. Er ist ganz in Beton ausgeführt. Die äußere Wand bildet gleichzeitig mit der Wehrkrone einen Entlastungsüberfall und hat gleiche Höhe mit dem Wehr. Der 3 m breite Einlaufkanal

führt zu einer ebenfalls ganz in Beton ausgeführten Schleusenkammer, in der eine Grund- und Leerlaufschleuse, eine Einlaufschleuse sowie eine kleine Sandspülschleuse eingebaut sind. Ein unmittelbar außerhalb der Kammer angebrachter, schräg gestellter eiserner

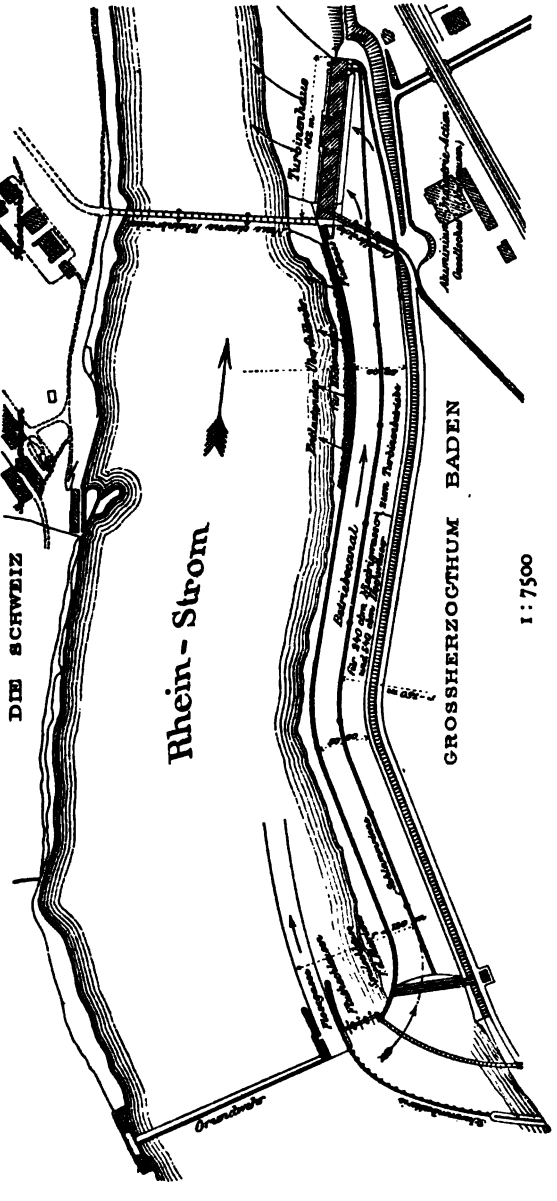


Nach Zeitschr. f. Bauw. 1900.

Abb. 52a. Kraftanlage von Rheinfelden.

Nutzgefälle: 2,8 bis 4,9 m. 20 Turbinen von je 840 PS. Leistung.

Rechen mit 15 cm Maschenweite hat den Zweck herantreibende Holzstämme abzuweisen oder aufzufangen [1]).



Nach Zeitschr. f. Bauw. 1900.

Abb. 52b. Lageplan der Kraftanlage Rheinfelden.

Wasserfassung mittels Grundwehr, das durch bewegliche Schützen erhöht ist. Am Kanaleinlauf: Einrichtungen für den Floß- und Fischverkehr und die Abführung der Geschiebe; Flutschleusen für die Hochwasserentlastung. Betriebskanal, rd. 1 km lang, zur Gewinnung des Nutzgefälles (2,8 bis 4,9 m), mit Überfallwehr am unteren Ende. Kraftwerk mit Rechen, Spül- und Kahnschleuse und Fischpaß.

1) Nach Schweiz. Baug. Bd. XLII.

Triebwerkkanäle und Stollen.

An den unteren Flußläufen mit breiten Tälern baut man meist offene Triebwerkkanäle, die mit dem Flusse gleichlaufend im Erdreich oder im Fels ausgehoben werden (Abb. 51 und 52a u. b). Hinsichtlich der Linienführung der Triebwerkkanäle und der Anlage der Gefällstufen (Kraftwerke) gelten im wesentlichen dieselben Gesichtspunkte, wie für die Projektierung der Schiffahrtskanäle (vergl. Handb. d. Ing. Wissensch. III. T. V. Band). Die Entscheidung, bis zu welcher Grenze die Kraftausnutzung wirtschaftlich noch berechtigt ist, hängt von dem Gefällverlust ab, der durch die Wasserführung des Betriebskanals bedingt ist. v. Miller[1]) nimmt für die Zuleitungsgräben zu den Turbinen ein Mindestgefälle von 40 bis 50 cm auf 1 km an, so daß darnach bei 0,4 bis 0,5 v. T. Flußgefälle die Ausnutzbarkeit für Kraftzwecke nicht mehr vorhanden ist. Die Menge des abzuleitenden Wassers ist bei Entscheidung dieser Frage nach dem Kanalgefälle ebensosehr von Bedeutung wie die zulässige Geschwindigkeit, welche das Wasser annehmen darf. Je größer das Gefälle ist, um so kleiner kann der Querschnitt des Kanals sein, andererseits bedingt eine starke Abflußgeschwindigkeit Gefällverluste und kostspielige Befestigungen der Kanalwandungen. Eine Wasserbewegung von 1 m sekundlich wird einen Schutz der Kanalböschungen und -sohle schon erwünscht erscheinen lassen. Man wird daher über dieses Maß bei langen Betriebskanälen nicht wohl hinausgehen, während man bei kurzen Zuleitungen, bei denen die Reibungsverluste und die Kosten eines Uferschutzes nicht sonderlich ins Gewicht fallen, wohl bis 3,0 m/sek. hinaufgeht. Zu beachten ist dabei auch, daß ein Gefällverlust von wenigen Metern bei Hochdruckanlagen weniger mitspricht, als bei niederen Gefällen.

Der Einlauf zu den Turbinen wird in solchem Maße erweitert, daß eine Eintrittsgeschwindigkeit von etwa 0,5 m nicht überschritten wird. Dabei ergibt sich oft die Notwendigkeit eines Überganges aus dem geradlinigen flachgeböschten Querschnitte des Kanals in die Begrenzung aus lotrechten Mauern vor dem Krafthause. Dieser Übergang kann durch windschiefe geschwungene Fläche vermittelt werden, wobei Beton mit Vorteil Verwendung findet. Wirbel und Gegenströmungen müssen an dieser Stelle nach Möglichkeit vermieden werden.

1) Z. d. V. d. Ing. 1903 S. 1002.

Der Unterkanal (Abfluß aus den Turbinen) sollte so angeordnet werden, daß hier nie ein Trockenlaufen stattfinden kann, um ein Wasserpolster zu bilden, das den Angriff des abströmenden Wassers ermäßigt. Bei offenem Zulauf sollen die Turbinen im Oberwasser wenigstens um 1 m mit Wasser überdeckt sein, und ebenso gilt es als Konstruktionsregel, daß die Saughöhe für den Abfluß aus den Turbinen höchstens 6 m sein darf. Die Sohle des Unterwasserkanals wird oft wagerecht und tief gelegt, um das Niedrigwasser des Flusses bis an die Turbinen zurückstauen zu lassen. Man wird auch berücksichtigen müssen, daß ein langer Unterkanal oft eine bessere Entwässerung in landwirtschaftlichem Interesse schafft, wenn er tief in Land einschneidet. Es empfiehlt sich eine spitzwinklige Einmündung des Unterkanals in den Flußlauf und eine hochwasserfreie Lage (Solingen Abb. 10) gegen den Fluß, um ein Überschälen und Versanden des Auslaufs zu vermindern. Das Wasserspiegelgefälle bildet sich dann durch den Stau des aus den Turbinen abstürzenden Wassers und wird meist größer sein, als im Oberwasser. Auf eine Sicherung der Sohle und Böschungen ist hier in erster Linie Rücksicht zu nehmen.

Bei der Festlegung des Kanalquerschnittes wird die Untersuchung im Wege des Probierens durchgeführt. Die abzuführende Wassermenge ist als bekannt anzusehen. Das Wasserspiegelgefälle, das der Betriebskanal erhalten soll, wird man nach 2 Gesichtspunkten wählen: es darf nicht zu viel Gefälle für die Kraftausnutzung verloren gehen und weiterhin darf die Geschwindigkeit des fließenden Wassers nicht zu groß werden, um die Böschungen und Sohle des Kanals nicht zu beschädigen. Man wird hiernach praktisch verschiedene Querschnitte nach allgemeinen Konstruktionsgesichtspunkten hinsichtlich der Böschungsverhältnisse, Wassertiefen, Sohlenbreite, im übrigen aber beliebig wählen und aufrechnen, wie viel sie bei gegebener Füllhöhe und bei dem gewählten Gefälle abzuführen vermögen. Auf diese Weise wird man zu einem Querschnitt gelangen, der den gegebenen Abflußbedingungen entspricht. Zweckmäßig geht man dabei von der mit Rücksicht auf die Bodenart als zulässig erachteten Wassergeschwindigkeit (v) aus und berechnet das Gefälle, welches das gewählte v erzeugt. Für kleine Wassermengen von 10—20 cbm/sek. wird das Gefälle (J) zu etwa 1 : 2000, für große Betriebswassermengen von 50 cbm und mehr zu etwa 1 : 3000 angenommen werden dürfen.

Im übrigen legt man den Berechnungen die Beziehungen zugrunde

$$Q = v \cdot F$$

$$v = c\sqrt{R\,\mathfrak{J}}$$

worin Q die Abflußmenge, F den Querschnitt, R den hydraulischen Radius $= \frac{F}{p}$ bezeichnet, wenn p der benetzte Umfang ist.

Der Koeffizient c muß geschätzt werden entsprechend dem Boden, den Rauhigkeitsverhältnissen der Kanalsohle und Wandungen und mit Beziehung auf das vorläufig angenommene Gefälle. In dieser Wahl liegt eine gewisse Willkürlichkeit und sie bildet einen schwachen Punkt aller solcher hydraulischen Rechnungen.

Gute Hilfe leistet dabei die Formel und graphische Darstellung von Ganguillet und Kutter (s. Hütte, Handb. d. Ing. W. usw.). Man wählt den Rauhigkeitskoeffizienten n für:

	n
Kanäle aus gehobeltem Holz, glattem Zementputz usw.	0,010
Kanäle aus Brettern	0,012
Kanäle aus behauenen Quadersteinen, aus gefugten Ziegelsteinen	0,013
Kanäle aus Bruchsteinen	0,017
Kanäle in Erde, für Bäche und Flüsse	0,025
Gewässer mit Geschiebe und mit Wasserpflanzen	0,030
Für Zementputz mit Berücksichtigung der Inkrustation	0,013 bis 0,018
Gepflasterte Böschungen	0,022
Rauhe Felswände	0,030 bis 0,035
Tunnel mit Betonverkleidung	0,010 bis 0,012

Zahlreiche Messungen mittels hydrometrischer Flügel im Stollen des Elektrizitätswerkes Kubel, der glatte Wände hat, ergaben bei verschiedenen Pegelständen für kleine Wassertiefen den Rauhigkeitskoeffizienten der Kutterschen Formel zu 0,014, für größere über 40 cm reichende Wassertiefen zu 0,012 bis 0,0125. Als notwendige Wassergeschwindigkeit, um losen Schlamm weiter zu fördern, wird $v = 0{,}20$ m/sek. angesehen. Es genügt $v = 0{,}40$ m/sek., um Sandablagerungen in kleineren Kanälen zu verhindern. Als zulässige Wassergeschwindigkeit in Betriebskanälen darf gelten: bei unbefestigtem Erdboden (Lehm, Sand, Ton) 50—60 cm/sek.

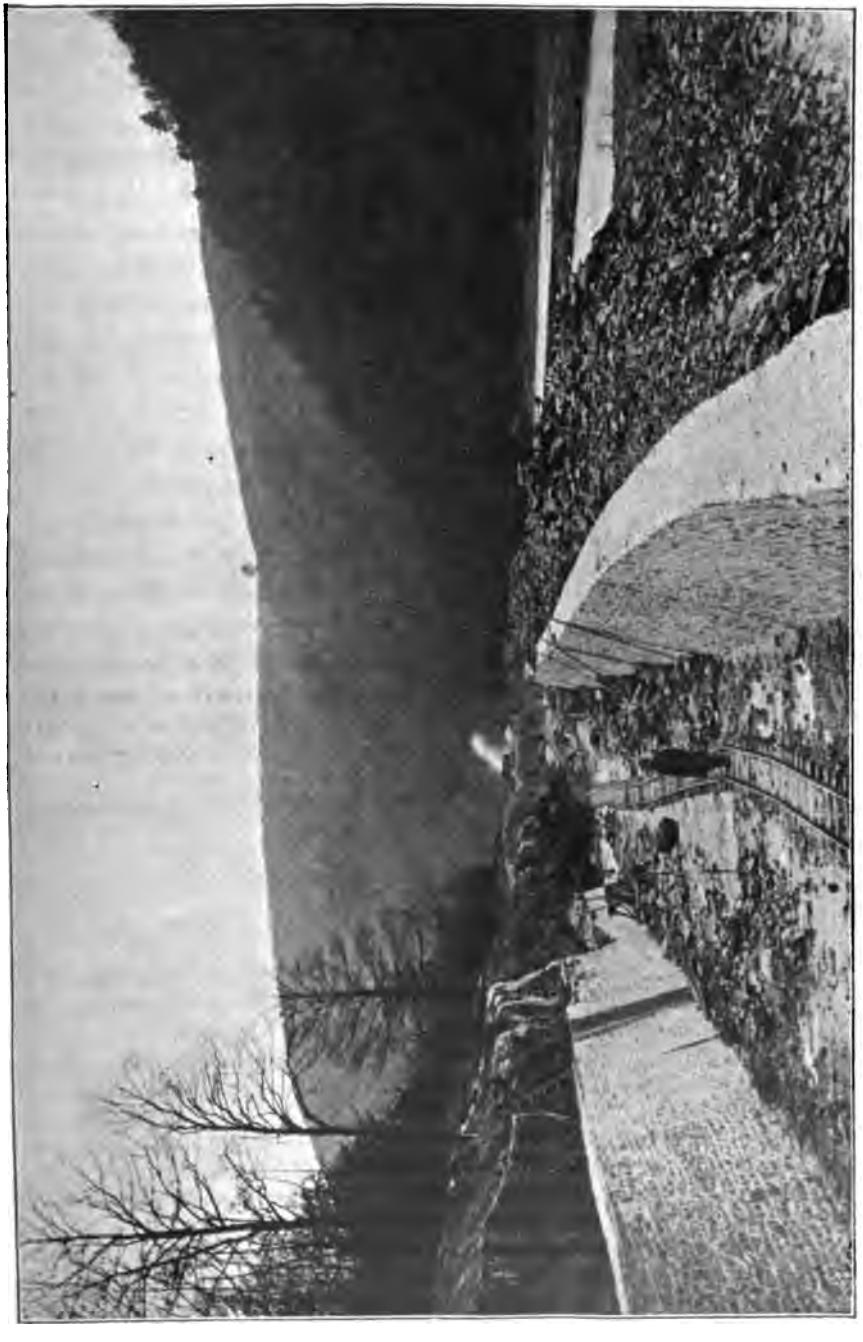


Abb. 53. Der Betriebskanal mit gemauerten Wandungen für das Elektrizitätswerk der Stadt Solingen im Bau. Sohlenbreite 8 m.

Darüber hinaus wird bei 70—100 cm/sek. eine Befestigung der Sohle schon erwünscht erscheinen, wie dies z. B. durch Steinpackung von 10 bis 15 cm Stärke bei den in 1 : 2 geböschten Wandungen des Betriebskanals des Solinger Kraftwerkes geschehen ist. Grober Kies kann bei $v = 70$ bis 90 cm ohne besondere Befestigung bleiben. Weiterhin ist zulässig für größere Kieselsteine und kantige Steine $v = 0{,}9$ bis 1,20 m, für hölzerne Zuleitungsrinnen $v =$ bis 2,5 und mehr, für leichteren Fels v bis 1,50 m/sek., für festen geschlossenen Fels und Beton $v = 2$ bis 3,0 m. Im übrigen sind diese Zahlen nur als allgemeiner Anhalt, nicht als Norm anzusehen.

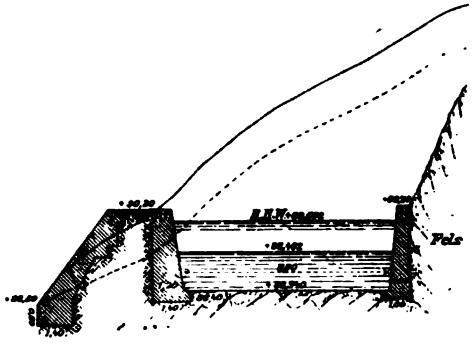


Abb. 54. Querschnitt durch den Oberwasserkanal des Solinger Elektrizitätswerkes an der Wehranlage.

Einige Betriebskanäle von ausgeführten Wasserkraftanlagen mögen zur Erläuterung der vorstehenden Darlegungen kurz beschrieben werden.

Der Betriebskanal des Wasser- und Elektrizitätswerkes der Stadt Solingen. Der Betriebskanal ist im Anschluß an die Einlaßschleuse auf etwa 150 m Länge in den linken Felshang eingeschnitten (Abb. 53) und im übrigen in das Vorland eingebettet (Abb. 51). Nächst dem Einlaufe ist der Kanal auf 200 m zwischen gemauerten Wandungen bei einer Sohlenbreite von 8 m hergestellt (Abb. 54) Der in windschiefen

Abb. 55. Querschnitt durch den Oberwasserkanal des Solinger Elektrizitätswerkes im Vorlande. Der Kanal liegt mit Normalwasserhöhe etwa in Geländehöhe.

Flächen gemauerte Übergang erweitert sich zu einem Querschnitte von ebenfalls 8 m Sohlenbreite, der unter dem gewöhnlichen Wasserspiegel in 1 : 2, darüber und bis zur Dammkrone in 1 : $1^1/_2$ abgeböscht ist (Abb. 55). Der Kanal ist imstande, bei einem Gefällverlust im Wasserspiegel von 0,5 m das Mittelwasser der Wupper von 12 cbm/sek. abzuführen. Die Wasserspiegelhöhe am Einlauf beträgt dann + 88,4 N.N. (Wehrkronenhöhe), an der Pumpstation + 87,90 N.N., während sich bei Stillstand des Wehres ein wagerechter Wasserstand von + 88,5 als Überlaufhöhe des Wehres einstellt. Das Niedrigwasser der Wupper an der Ausmündung des Unterwasserkanals liegt auf 82,80 N.N., so daß bei diesem Wasserstande in der Pumpstation ein Nutzgefälle von 5,1 m vorhanden ist. Bei Hochwasser + 89,70 vermag der Kanal mit 20 cm Spiegelgefälle 20 cbm/sek. den Turbinen zuzu-

führen; das Nutzgefälle an dem Kraftwerk beträgt dann 3,5 m. Die Kanaldämme sind mit + 90,20 noch 50 cm über diesen höchsten Wasserstand aufgeführt. Diese Höhenverhältnisse sind in Abb. 56 dargestellt.

Der Unterwasserkanal hat die gleichen Querschnittabmessungen. Da das ursprüngliche Gelände zwischen Kanal und Wupper zum Teil niedriger lag als das höchste Hochwasser, so wurde, um ein Überströmen dieses Geländes und die Verschlammung des

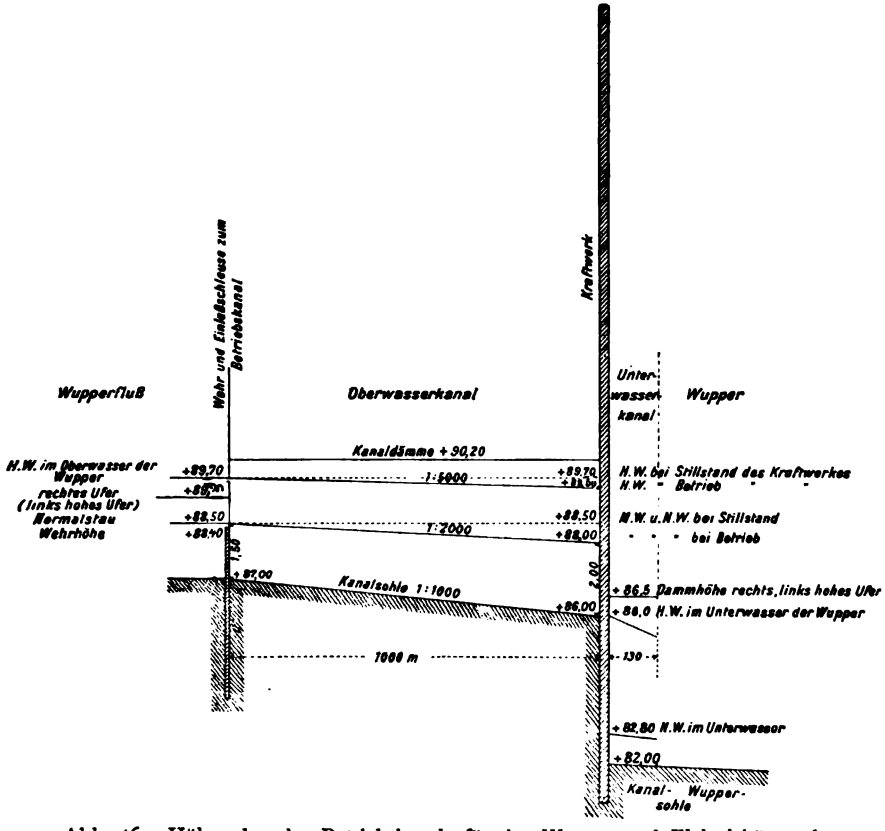


Abb. 56. Höhenplan des Betriebskanals für das Wasser- und Elektrizitätswerk der Stadt Solingen.

Gefällhöhe am Kraftwerk bei H.W. = 3,70 m
» » » » M.W. = 5,00 »
» » » » N.W. = 5,20 »

Kanalauslaufes zu verhindern, dieses Gelände aufgehöht und der auslaufende Kopf zwischen Kanal und Wupper durch Steinabdeckung gesichert (s. Abb. 10).

Triebwerkkanal der Elektrizitätswerke in Gersthofen (Abb. 57 u. 58). Der Triebwerkskanal verläuft auf seiner ganzen Länge parallel zum Lech und zwar in ca. 60m Entfernung vom linksseitigen Flußufer. Der Oberwasserkanal von der Einlaufschleuse

bis zur Kraftstation besitzt 3 km Länge, der Unterwasserkanal von der Kraftstation bis zur Einmündung in den Lech 4,3 km; die ganze Kanallänge beträgt also 7,3 km.

Das Sohlengefälle des Oberkanals wurde zu 1 : 2500 gewählt. Infolge dieser starken Neigung der Sohle ergibt sich für den Wasserspiegel im Längenprofil eine Staukurve, und es wird dadurch der Vorteil eines sehr geringen Gefällverlustes erzielt. Dieser Verlust stellt sich bei 50 cbm sekundlicher Wasserführung zu nur 17 cm für die ganze

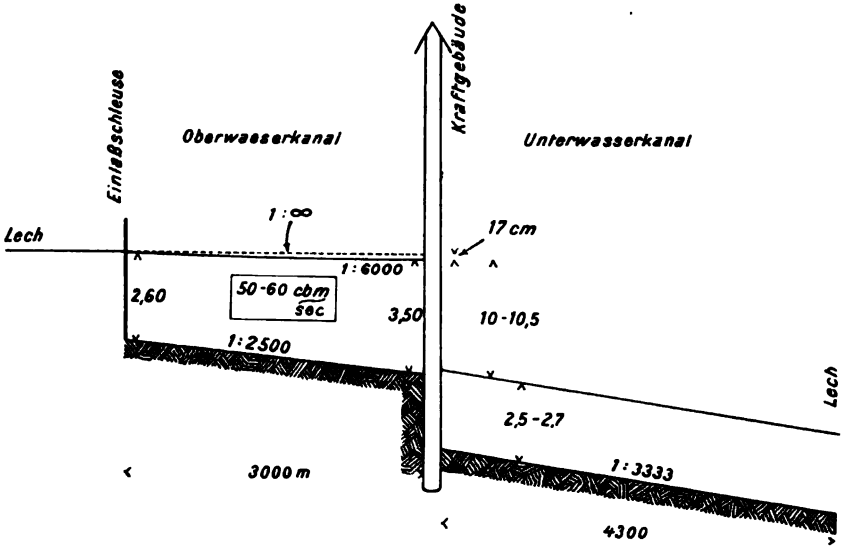


Abb. 57. Höhenplan des Triebwerkkanals für das Elektrizitätswerk in Gersthofen.

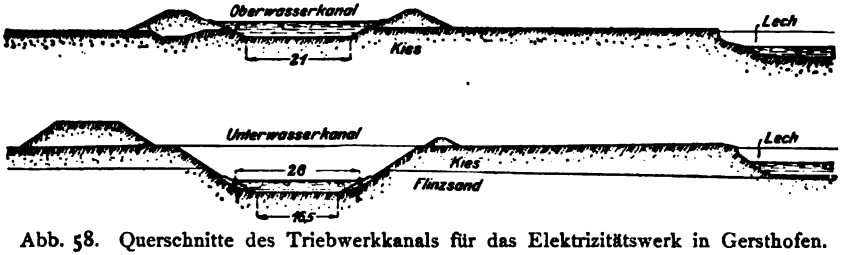


Abb. 58. Querschnitte des Triebwerkkanals für das Elektrizitätswerk in Gersthofen.

Länge des Oberkanals. Die Wassertiefe beträgt unterhalb des Kanaleinlaufes 2,60 m, bei der Kraftstation dagegen 3,50 m.

Die Kanalsohle im Oberwasser hat eine Breite von 21 m, die Böschungen sind zweimalig. In der oberen 2 km langen Strecke ist der Kanal im gewachsenen Boden eingeschnitten, in der unteren Strecke auf 1 km Länge wird er aber hauptsächlich durch Dämme gebildet und der Wasserspiegel liegt bis zu 3 m über der ursprünglichen Bodenoberfläche. Der Unterwasserkanal ist im Querschnitt mit 18 m Sohlenbreite angelegt, erhielt bis über Wasserspiegel zweimalige und von hier ab einundeinhalbmalige Böschungen. Zwischen den

beiden Böschungsneigungen sind 0,75 m breite Bermen zur Begehung des Kanals eingeschaltet. Das Gefälle des Unterkanals beträgt 1 : 3333. Die durchschnittliche Tiefe, auf welche er in das Gelände einschneidet, ist 7 m, die größte Tiefe 10 m[1]).

Der Querschnitt des Betriebskanals für das Elektrizitätswerk Wangen

a. Querschnitt in Erde.

b. Querschnitt mit Betonabdeckung.

Abb. 59a u. b. Querschnitte des Oberwasserkanals für das Elektrizitätswerk Wangen a. d. Aare.

a. d. Aare (Abb. 59a u. b). Von der Kanalschleuse führt der Oberwasserkanal nach dem rd. 8 km unterhalb liegenden Turbinenhause. Er fördert bei NW. 100 cbm/sek. und ist bei 40 cm höherem Stau imstande, 120 cbm abzuleiten.

Das Wasserspiegelgefälle des Kanals beträgt 1 : 8000, während seine Sohle ein Ge-

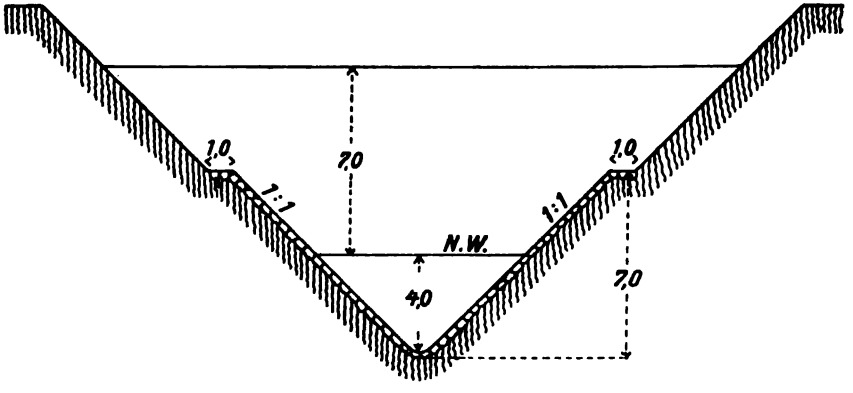


Abb. 60. Querschnitt des Kanals für das Kraftwerk San Giovani Lupattoto bei Verona.

fälle von 1 : 6000 besitzt; die mittlere Geschwindigkeit steigt in den ohne Deckung ausgeführten Strecken nicht über 1 m/sek. Je nach der Bodenart und seiner Lage in oder über dem Gelände hat der Kanal verschieden gestaltete Querschnitte erhalten, auch ist teilweise ein Uferbelag aus Betonplatten vorgesehen. Die Sohlenbreite beträgt fast durchweg 17 m, die Uferböschungen sind in einer Neigung von 1 : 2 angelegt und haben außerdem zur Er-

[1]) Nach Bayer. Industrie- und Gewerbeblatt 1904.

höhung ihrer Standsicherheit in 3 m Höhe über der Sohle eine Berme von 1 m Breite erhalten. Die Wassertiefe ist bei NW. 4 m und steigt bei MW. und 120 cbm Wasserführung auf rd. 4,4 m an[1]).

Bei der Wasserkraftanlage San Giovanni Lupattoto bei Verona an der Etsch hat der Kanalquerschnitt die Form eines Dreiecks mit dem rechten Winkel nach unten (Abb. 60). Rund 7 m über dem tiefsten Punkt ist die Böschung zu beiden Seiten durch eine Berme von 1 m Breite unterbrochen. Die kleinste Wassertiefe im Kanal beträgt 4,0 m. Der Kanal führt als N.W.-Betriebswassermenge 23 cbm/sek., ist abgepflastert und mit glattem Zementputz versehen. Die Tiefe des Geländes und die beträchtlichen Wasserschwankungen von 7 m wiesen auf die Anwendung dieses eigenartigen Querschnittes hin. Am Einlauf des Kanals hat man, um das Geschiebe und den Sand möglichst fern zu halten, die Sohle der Einlaufschützen um 0,8 m gegenüber der Flußsohle erhöht. Der Einlauf ist durch eine in der Vertikalebene getrennte Doppelfalle abgeschützt, wobei beide Schütze für sich gehoben werden können. Die untere 0,6 m hohe Schutztafel bleibt bei N.W. geschlossen, um so durch eine weitere Erhöhung der Einlaufsohle dem Geschiebe den Eintritt noch mehr zu erschweren. Eine ähnliche Einrichtung einer Mauerschwelle von 1,45 m Höhe über dem Flußbett ist am Einlauf zum Betriebskanal des Kraftwerkes Beznau a. d. Aare getroffen (Schweiz. Bauz 1907 I. S. 85). Dieser Kanal, der eine Länge von 1180 m und ein Sohlengefälle von 1 : 6666 hat, liegt in der Hauptsache in Kies eingeschnitten (Abb. 61).

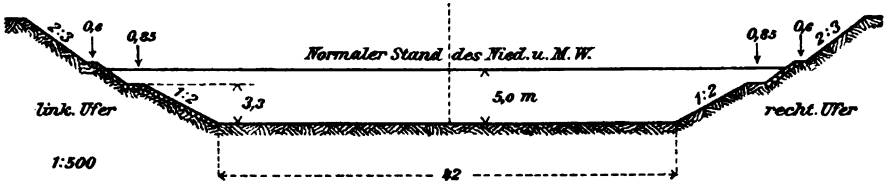


Abb. 61. Querschnitt des Betriebskanals für das Kraftwerk Beznau a. d. Aare.

Die untere Pflasterung ist am linken Ufer auf 200 m vom Einlauf ab vorhanden. Im übrigen ist der Querschnitt nur in der Höhe des wechselnden Wasserstandes mit Pflasterung versehen.

In beengten Gebirgstälern erfordert die Herstellung der offenen Kanäle, die dann meist als Hangkanäle ausgebildet werden müssen, ungewöhnliche Kosten, und die Betriebssicherheit ist durch Verschüttung mit herabfallenden Fels- und Geröllmassen gefährdet. Man hat daher im Gebirge die Zuleitung des Wassers vielfach in Stollen verlegt, die dem Flusse gleich laufen oder in vorteilhafter Weise die Schlangenlinien des natürlichen Gerinnes abkürzen. Ein interessantes Beispiel bietet in dieser Hinsicht das Kraftwerk De la Siagne in Saint-Cézaire (Alpes-Maritimes, Frankreich) Abb. 62. Die 7300 m lange Betriebswasserzuführung liegt teils am Hange, teils im Gebirge, ist aber in ihrer ganzen Ausdehnung überdeckt, um Schutz vor dem Steinfall zu haben[2]).

1) Nach Deutsche Bauzeitung 1903.
2) Le Génie Civil 25. 8. 06.

Oft findet bei diesen Stollenanlagen der Abfluß in ein anderes, niedriger gelegenes Flußtal statt, und gerade dieser Punkt — die

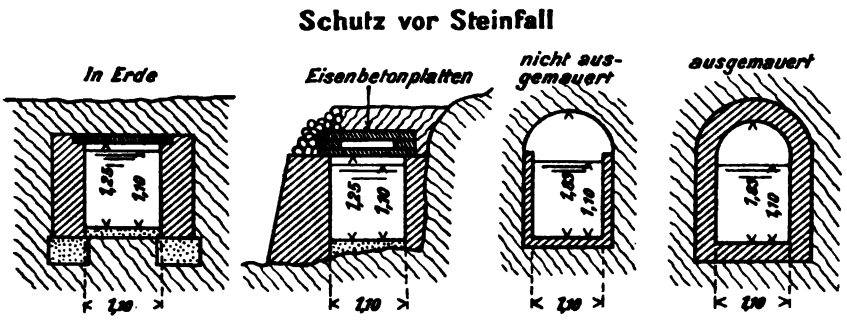


Abb. 62. Die Betriebswasserzuführung für das Kraftwerk De la Siagne in Saint-Cézaire (Alpes-Maritimes, Frankreich) mit Schutz vor dem Steinfall auf der freien Strecke.

Länge der Wasserzuführung 7300 m.
Wassermenge bei N.W. 1000 l/sek.
» » M.W. 2200 bis 2400 l/sek.
Gewonnenes Gefälle 350 m.
An den Stollen schließen sich 2 Druckrohre von 92 cm l. W.

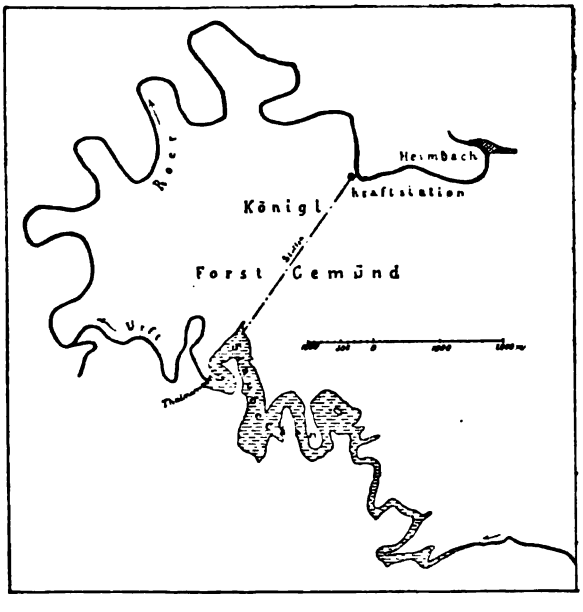


Abb. 63. Lageplan der Urfttalsperre mit Druckstollen und Kraftwerk bei Heimbach.

Gewinnung von Gefälle durch Umleitung des Wassers in ein anderes Flußsystem — hat bei neueren Ausführungen wertvolle Anwendung erlangt und verdient bei den Vorstudien zu Wasserkraftanlagen die größte Beachtung. Ein Beispiel hierfür bietet die Kraftanlage der Urfttalsperre in der Eifel (Abb. 63)[1]). Dieser konstruktive Gesichtspunkt hat auch bei einigen neueren Kraftanlagen in Norwegen, bei denen natürliche Seen durch Stollen angezapft wurden, vorteilhafte Verwertung gefunden. Neuere derartige Entwürfe schweben z. B. für den Walchensee in Oberbayern und für einige Wasserkraftunternehmungen in der Schweiz.

Das Kennzeichnende dieser Stollenführung ist, daß der Wasserlauf frei und in schwachem Gefälle bis zu einem scharfen Abfallpunkte des Bergzuges erfolgt, wo dann durch Vermitt-

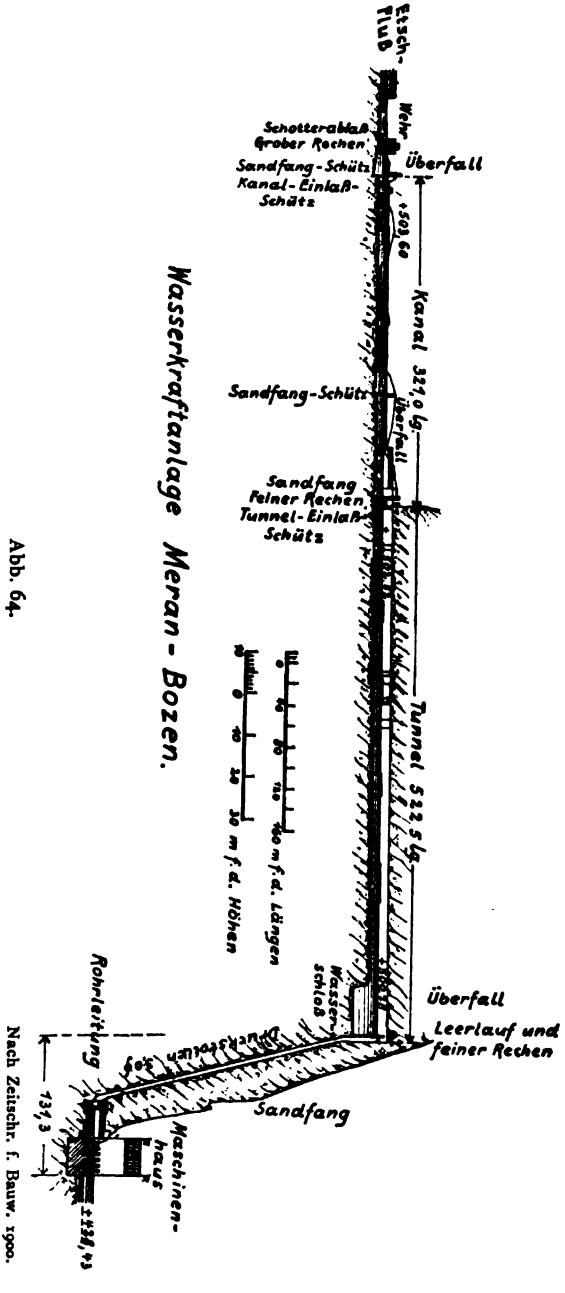


Abb. 64.

Nach Zeitschr. f. Bauw. 1900.

1) Intze, Wasserverhältnisse im Gebirge.

lung einer Kammer (Wasserschloß) die Überleitung des Wassers in Druckstollen oder Druckrohre eintritt (Abb. 64). Solch ein Wasserschloß vermag bei ausreichender Größe einen gleichbleibenden Druck in der anschließenden Rohrleitung zu halten und kann je nach seinem Fassungsraum in mehr oder minderem Maße den Zweck der im vorigen Abschnitt erörterten kleinen Ausgleichweiher für Stunden oder Tage erfüllen und zur Ablagerung von Sand und sonstigen im Wasser schwebenden Stoffen dienen, die den Bestand der Turbinenräder gefährden. Die Druckleitung fällt sehr stark — wenn nicht senkrecht — auf kürzestem Wege zum Kraftwerk

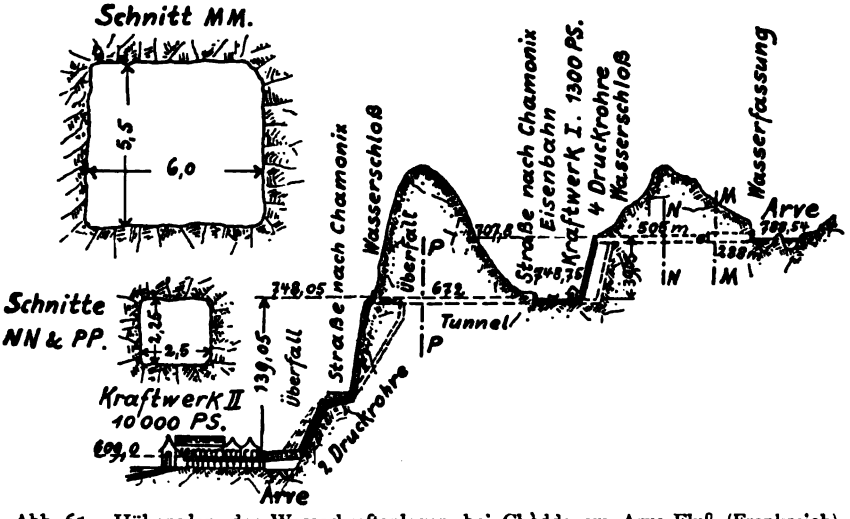


Abb. 65. Höhenplan der Wasserkraftanlagen bei Chèdde am Arve-Fluß (Frankreich). Nutzgefälle: 39 und 139 m.

ab. Oft durchschneiden die Stollen eine Reihe von Bergrücken nacheinander, wie z. B. bei den Wasserkraftanlagen der Edison-Gesellschaft zu Los Angeles (Westamerika). Die Verbindung der einzelnen Tunnel ist hier durch offene Gerinne in Holz-, Eisen- und Mauerkonstruktion erreicht.

Ein weiteres Beispiel für die Hintereinanderschaltung zweier Kraftwerke bieten zwei Anlagen bei Chèdde am Arvefluß in Frankreich (Haute-Savoie), über deren Gefällverhältnisse der Höhenplan, Abb. 65, Aufschluß gibt. Der Arvefluß wird aus dem Schnee und den Gletschern der Montblanc-Gruppe gespeist und hat ein starkes Gefälle. Das Wasser — 9 bis 10 cbm/sek. — wird zunächst in einen Tunnel von großem

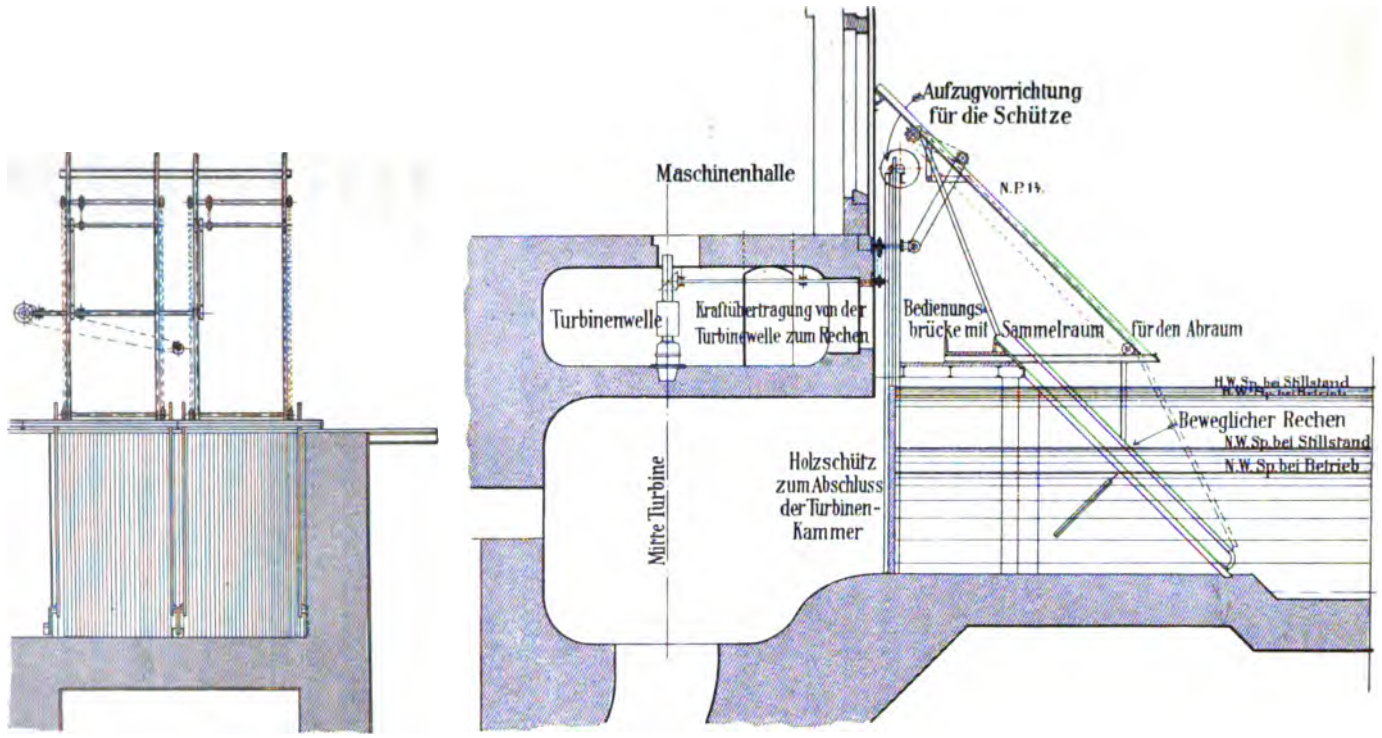
Querschnitt, Schnitt *MM*, geleitet, wo es sich abklärt; es durchfließt dann einen zweiten Tunnel, Schnitt *NN*, an dessen Ende sich das Wasserschloß des oberen Falles (39 m) mit vier Druckrohren von 1 m Durchmesser befindet. Das Kraftwerk I, in der Nähe von Servoz belegen und 1300 PS. stark, betreibt eine 38 km lange Bahn von Fayet nach Chamonix. Der Abfluß des Kraftwassers erfolgt zunächst in offener Bergschlucht und darauf in einem dritten Tunnel von 672 m Länge,

Abb. 66. Wasserschloß am Kraftwerk Entraygues (Var).

an dessen Ende in einer Meereshöhe von 748 m das Wasserschloß des zweiten Falles liegt. Durch die Abschneidung des Arvelaufes sind hier 139 m Gefälle gewonnen, die eine Kraft von 10000 PS. liefern. Der Abfall geschieht in zwei Druckrohren von je 1,40 m Durchmesser. Dieses Kraftwerk von Chèdde dient elektro-chemischen Zwecken[1]).

Am Einlauf der Betriebskanäle oder Stollen und auch an den Wasserschlössern und vor den Kraftwerken sind in Form von Kies- oder

1) De La Brosse, Les Installations Hydro-Électriques.



Ansicht von Oberwasser. Schnitt.

Abb. 67. Mechanisch angetriebene Krautgitter-Reinigungsanlage für das Elektrizitätswerk der Stadt Solingen.

Sandfängen Einrichtungen zu treffen für die Ablagerung der Geschiebe und Sinkstoffe, wie sie zum Teil schon bei der Beschreibung der Einrichtungen für die Wasserfassung erörtert wurden. Ergänzend sei noch erwähnt, daß beim Kraftwerke von Hagnek (Schweiz) die Sohle des Einlaufs um 2 m höher als die Sohle des Hauptwehres im Fluß liegt, um den gröberen Geschieben den Eintritt zu wehren. Zu weiterem Schutz werden — besonders am Kraftwerk vor dem Einlauf zu den Turbinen — Rechen aus Eisenstäben angeordnet mit 20 bis 30 mm Durchflußweite (s. Abb. 66). Seitliche Auslässe, durch Schützen regelbar, ermöglichen die Spülung. Bei neueren Anlagen erfolgt die Reinigung dieser Rechen, die sich durch treibendes Laub und Strauchwerk leicht versetzen, mitunter auf mechanischem Wege durch eine harkenartige Vorrichtung, die von den Turbinen aus angetrieben wird, wie z. B. bei dem Elektrizitätswerke der Stadt Solingen (Abb. 67). Die Säuberung des Triebwassers von den mitgeführten Geschieben und Sänden ist eine wesentliche Aufgabe, auf die der projektierende Ingenieur bei seinen konstruktiven Maßnahmen wohlbedachte Rücksicht zu nehmen hat, wenn er nicht dem Betriebe unliebsame Lasten bereiten will. Wir sind in dieser Hinsicht zum Teil noch im Anfange der Erfahrungen, die den Weg weisen sollen für die beste Lösung. Es ist nicht sowohl schwierig, die groben Bestandteile im Wasser abzusondern, als vielmehr die feinen, schwebenden sinkstoffartigen Teile abzufangen. Gerade diese Stoffe üben in dem dauernden Durchgange des Wassers durch die Turbinen ihre abschleifende, unheilvolle Wirkung auf die Eisenteile aus, wie sich dies u. a. an den Turbinen des Kraftwerkes St. Maurice (Rhone) und der Sillwerke gezeigt hat. Bei einer Wasserkraftanlage in Westamerika ist beobachtet worden, daß nach einem heftigen Regenguß die Einströmungsdüse in ihrem Durchmesser von 9 auf 11 cm durch den Sand ausgeschliffen war[1]). Vorteilhaft zur Vermeidung dieser Übelstände ist die Anlage eines geräumigen Wasserschlosses, in dem selbst die feinen Stoffe zur Ablagerung kommen, die sich durch die entsprechenden Einrichtungen an den hydraulischen Anlagen für die Wasserfassung durch den Stollen und den Betriebskanal hindurchgewunden haben. Man hat aus diesem Grunde z. B. bei der Erweiterung der Etschwerke (Meran-Bozen) dem Wasserschloß einen Raum von 6000 cbm gegeben.

1) Eng. Rec. 7. 4. 06.

Zu den Gefahren der Eisversetzung der Rechen und Turbinen und ihrer Beseitigung möge folgendes bemerkt werden:

Beim städtischen Elektrizitätswerk Schweinfurt sind zum Fernhalten von Eis und Unreinlichkeiten ein Grobrechen vor den Werkkanälen und ein Feinrechen vor den Turbinen angeordnet. Weiter oberhalb im Fluß befindet sich ein hölzerner Eisabweiser. Vor dem erwähnten Feinrechen ist eine Eisschleuse eingebaut, die nach einem seitlich liegenden Flußkanal Vorflut hat. Die Schützen vor den Turbinenkammern können durch eine Handkurbel langsam gesenkt werden. Außerdem ist die Möglichkeit vorgesehen, daß die Schützen nach Auslösung einer Kuppelung frei herabfallen, um bei Betriebsstörungen den Wasserzufluß zu den Turbinen sofort abstellen zu können[1]).

Bei den Isarwerken wird in den Wintermonaten, wenn die Gefahr vorliegt, daß sich an dem Feinrechen Eis ansetzt, wodurch Betriebsstörungen hervorgerufen werden können, am oberen Ende des Rechens verhältnismäßig warmes Quellwasser von 8 bis 10° C. Wärme unter dem Druck mehrerer Atmosphären auf die Rechenstäbe geleitet. Es ist dafür ein Rohr mit vielen kleinen Löchern angeordnet, das durch besondere Pumpen aus dem Maschinenraum gespeist wird. Die Erfahrung hat erwiesen, daß durch diese Vorrichtung die Rechenstäbe den ganzen Winter hindurch vollständig eisfrei gehalten werden können.

Nach den Beobachtungen bei dem Betriebe der Turbinen der Kränholmer Baumwollenfabriken (5000—6000 PS.) bei Narwa (Estland) erfolgt die Eisbildung im Winter bei dem Eintritt des Wassers in die Leiträder der Turbinen, sodaß sich nach und nach die Zellen schließen. Diese Erscheinung ist besonders beobachtet beim Übergange von großer Kälte zu etwas wärmerer Temperatur. Die Betriebsstörung konnte hier nur durch Aufhauen des Eises beseitigt werden[2]). Nach der Ansicht von Adams[3]) ist erfahrungsmäßig die beste Sicherheit gegen Grundeis ein großes, tiefes Vorbecken, nächst dem Rechen am Maschinenhause,

---

1) Journal für Gasbel. u. Wasservers. 1907 S. 406.

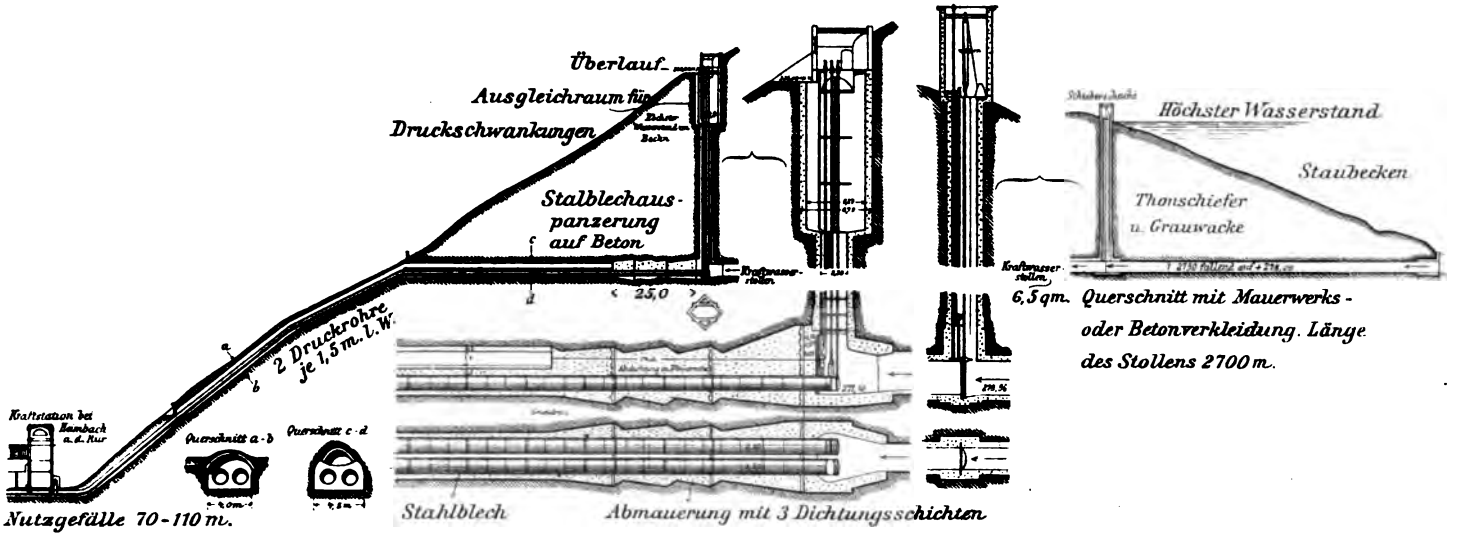
2) Electric Transmission of Water Power.

3) »Der Papierfabrikant«, Zeitschrift. Berlin 1904 S. 750, 1906 S. 2155. Weiteres über den Schutz von Eisstörungen im Turbinenbetrieb s. Z. f. d. ges. Turbinenwesen 1906 S. 506, 1907 S. 35, 175 u. 264, ferner das Buch: Lüscher, Das Grundeis und Störungen in Wasserläufen und Wasserwerken, sowie die Druckschriften über »Anlage von Wehren in Flüssen bei Berücksichtigung der Interessen der Schiffahrt und der Industrie« zum XI. Schiffahrtskongreß Petersburg 1908.

Tabelle 18. Gefälle von Triebwerkskanälen und Stollen.

Ort	Flußgefälle	Wassermenge cbm	Gefälle im Oberwasser	Wassergeschwindigkeit m/sek.	Länge km	Bemerkungen.
Gersthofen (Lech)	1 : 750	50—60[1])	1 : 2500	0,6	7,3	Sohlengefälle.
Kraftwerk am Rhein bei Mülhausen (Entw.)	1 : 1000	250[1])	1 : 10000	0,75—1	8,1	»
Solingen (Wupper)	1 : 200	12[2])	1 : 1000	bis 1 m	1,17	»
La Dernier . . .	—	20	1 : 333	3.3	2,63	Stollenleitung.
Kubel (Schweiz) .	1 : 61	4	1 : 1333	1,2	4,626	Offene Stollenleitung.
Untertürkheim (Neckar)	1 : 150	15—24	1 : 170	—	0,42	Betonierte Sohle.
Elektrizitätswerk a. d. Sihl (Zürich)	1 : 52	1,8—3,0	1 : 1000	bis 1,21	2,2	Stollen.
Val de Travers						
Champ de Moulin	(52,5)	3,5	1 : 500	—	1,0	Kanal.
Usine des Clées.	(56,0)	1,15	1 : 1000	—	1,6	Kanal.
Meran-Bozen . .	(70,0)	8,0	1 : 333	—	0,321	Offener Kanal.
	1 : 14	8,0	1 : 286	—	0,522	Stollen.
Brennerwerke Matrei	82,0	8,5	1 : 500	—	0,526	Stollen.
Wangen a. d. Aare	1 : 900	120,0	1 : 6000	1,0	8,0	Offener Kanal.
Kykkelsrud (Norwegen)	12—19	200—400	1 : 67	2—3	1,0	Offener Kanal.
Kraftwerk d. Valtellina-Bahn (Italien)	30	25	1 : 1000	1,5	4,8	1,9 km offener Kanal. 2,9 km Tunnel.
Jajce (Bosnien) . .	75	14	1 : 1000	—	3,1	Offener Kanal. 900 m Tunnel.
Bruck (Österreich)	8,7	22—37	1 : 5000	0,8—1,0	2,1	Offener Kanal.
Urfttalsperre . . .	70	5 - 6	1 : 3000	—	3,0	Druckstollen.
Vizzola	1 : 333	55—63	1 : 6700	1,3	10	Schiffbarer Kanal für 40 t-Schiffe, Gesamtgefälle 24—28 m, 4 Schleusen von je 7,0 m Gefälle. Von der verfügbaren Wassermenge sind 3 cbm für Schiffahrtszwecke vorbehalten. Kanalsohle und Wandungen sind mit einer Betonschicht abgedeckt.
Luzern-Engelberg	1 : 10	2,6	1 : 900	—	2,66	Offener Stollen, Zuführung zur Druckleitung.
Innsbruck	1 : 41	4,0—7,5	1 : 1000	bis 2,25	7000	Offener Stollen.
San Giovanni Lupattoto an der Etsch b. Verona.	—	23	1 : 3800*)	1,35	1,500*,	*) Wassergefälle. Kanalwände gepflastert und mit glattem Zementverputz versehen.
Beznau a. d. Aare	—	195*)	1 : 6666	—	1,180	*) Bei N.W. Sohlengefälle.
Kardaun b. Bozen (Tirol)	—	1,0	1 : 666	1—1,5	3400	Offener Stollen.
Löntschwerke (Schweiz). . . .	—	2,0	1 : 500	—	4,2	Druckstollen von 4,8 qm Querschnitt.
Pölswerke (Steiermark)	1 : 90	4	1 : 333	—	2,1	Kanalsohlengefälle.

1) N.W. 2) M.W.



Nach Intzes Entwurf.

Abb. 68. Druckstollen zur Zuleitung des Kraftwassers von der Urfttalsperre zum Kraftwerk bei Heimbach.

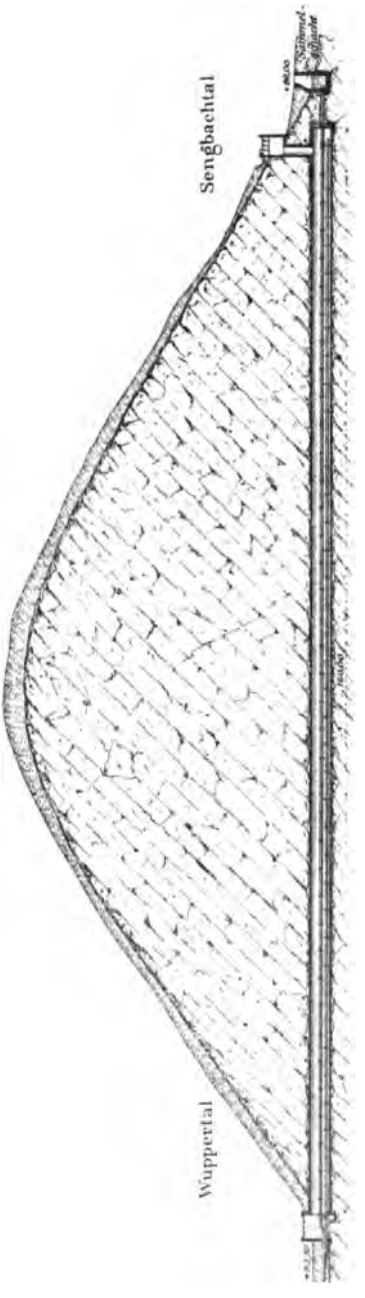
wo das Wasser verhältnismäßig ruhig ist und bald gefriert, nachdem der Frost eingetreten ist. Damit ist der wesentlichste Schutz gegen das Zusetzen der Rechen erzielt.

Die vorstehende Tabelle 18 gibt von neueren Ausführungen einige Daten über die Gefälle und Wassergeschwindigkeiten in Betriebskanälen und Stollen. Das kleinste Gefälle für Mühlgräben mit nur mäßiger Wasserführung wird im allgemeinen nicht geringer als etwa 1 : 100 sein dürfen.

Die Druckstollen in natürlichem Gestein verlangen ein sehr dichtes Gebirge, wenn nicht unangenehme Wasser- und Druckverluste entstehen sollen. Wo man dieser Dichte nicht sicher war, hat man die Seitenwände ausbetoniert und mit wasserdichtem Putz versehen (Urfttalsperre, Abb. 63 u. 68). Durch die glatten Wände werden zudem die Reibungswiderstände wesentlich vermindert. Eingehende Mitteilungen über die Abdichtungsarbeiten für den Druckstollen des Kraftwerkes zu Bakersfield am Kernfluß (Cal.), bei 270 m Druckhöhe s. Engineering News v. 21. 3. 07.

Beispiele von ausgeführten Stollenanlagen:

Der Stollen des Solinger Wasser- und Elektrizitätswerkes. Der



Ungefährer Maßstab 1 : 11000.

Abb. 69a. Längsschnitt durch den Zuleitungsstollen für die Rohrleitungen von der Talsperre zum Kraftwerk der Stadt Solingen.

Stollen (Abb. 69 a u. b u. 70) durchschneidet in einer Geraden von 160 m Länge den Bergrücken, der das Sengbachtal vom Wuppertale trennt. Er nimmt 3 Rohrleitungen auf: 1. die vom Vorbecken kommende 350 mm weite Trinkwasserleitung, 2. die 400 mm weite Trinkwasserleitung von den Rieselwiesen unterhalb der großen Talsperre und 3. die 700 mm weite Druckwasser-

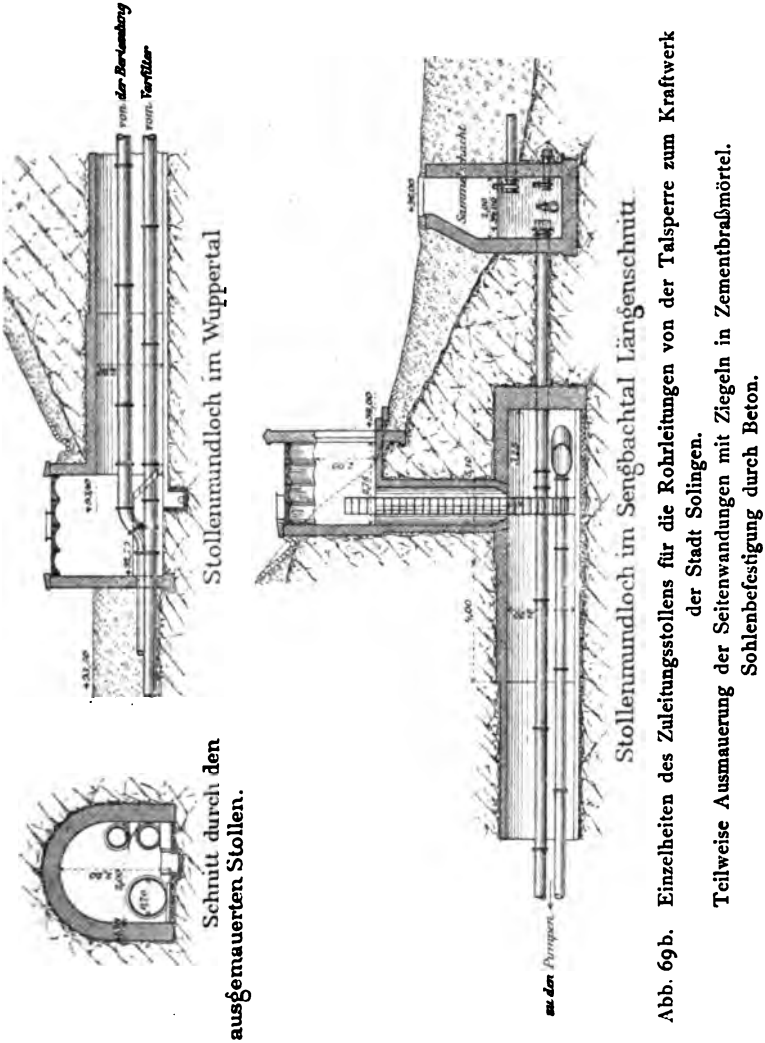
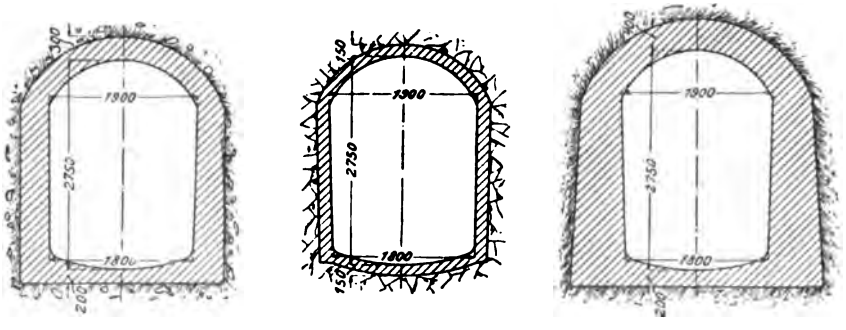


Abb. 69b. Einzelheiten des Zuleitungsstollens für die Rohrleitungen von der Talsperre zum Kraftwerk der Stadt Solingen.
Teilweise Ausmauerung der Seitenwandungen mit Ziegeln in Zementbraßmörtel.
Sohlenbefestigung durch Beton.

leitung aus dem Hauptsammelbecken. Zwischen den beiderseitig angebrachten Rohren ist ein mittlerer Gang vorhanden. Dieses Raumbedürfnis bedingte die Abmessungen des Ausbruchquerschnittes, der mit 2 m Breite und 2,20 m Höhe und rd. 5 cbm Felsausbruch auf 1 m Länge auf das knappste Maß eingeschränkt worden ist. Das Lenneschiefergebirge ist

im allgemeinen standfest, so daß die Ausmauerung des Stollens nur an einigen weniger guten Stellen erforderlich wurde. Die beiden unteren Rohre sind auf Betonklötzen von etwa 20 cm Höhe in 2 m Entfernung, dasobere 400 mm weite Rohr auf eisernen, zum Teil

Abb. 70. Gebirgsstollen mit gußeisernen Muffenohren von 350, 400 und 700 mm Durchmesser für 5 Atm. Innendruck. (Wasser- und Elektrizitätswerk Solingen).



im festen Erdreich und lockerem Fels | im festen Fels | im druckhaften Gebirge

Abb. 71. Querschnitte des Zuleitungsstollens für die Sillwerke bei Innsbruck. Wandungen und Sohle sind aus Beton, das Deckengewölbe aus Bruchsteinmauerwerk hergestellt.

eingemauerten, zum Teil in den Fels einzementierten Konsolen verlegt worden. Die Rohre haben Muffendichtung. Ausdehnungsvorrichtungen sind nicht vorhanden. Die Stollenmundlöcher sind abgeschlossen durch zwei Vorbauten in einfacher Ausstattung aus Ziegel-

mauerwerk, deren Dachdeckung aus Holzzement auf Schwemmsteinkappen zwischen eisernen Trägern besteht.

Zuleitungsstollen und Wasserschloß der Sillwerke. Ein offener Kanal, der den Windungen des Geländes hätte folgen müssen, erwies sich als unsicher, weil bei

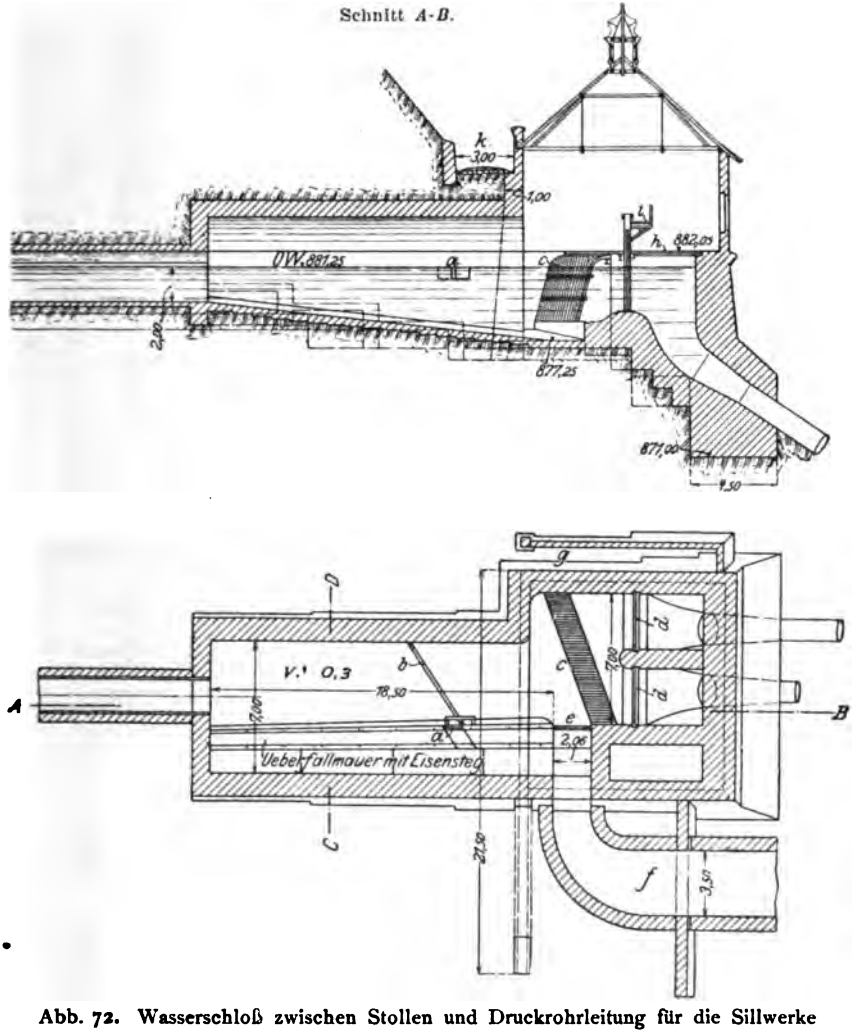


Abb. 72. Wasserschloß zwischen Stollen und Druckrohrleitung für die Sillwerke bei Innsbruck.

der steilen Lehne infolge der wechselnden Beschaffenheit des Untergrundes ungleichmäßige Fundamente erforderlich gewesen wären. Man beschloß daher, die ganze Zuleitung als Stollen auszuführen, die vielen Talwindungen in den Mulden nahe an die Oberfläche zu legen, wodurch eine Menge Angriffpunkte für den Bau gewonnen wurden. Der

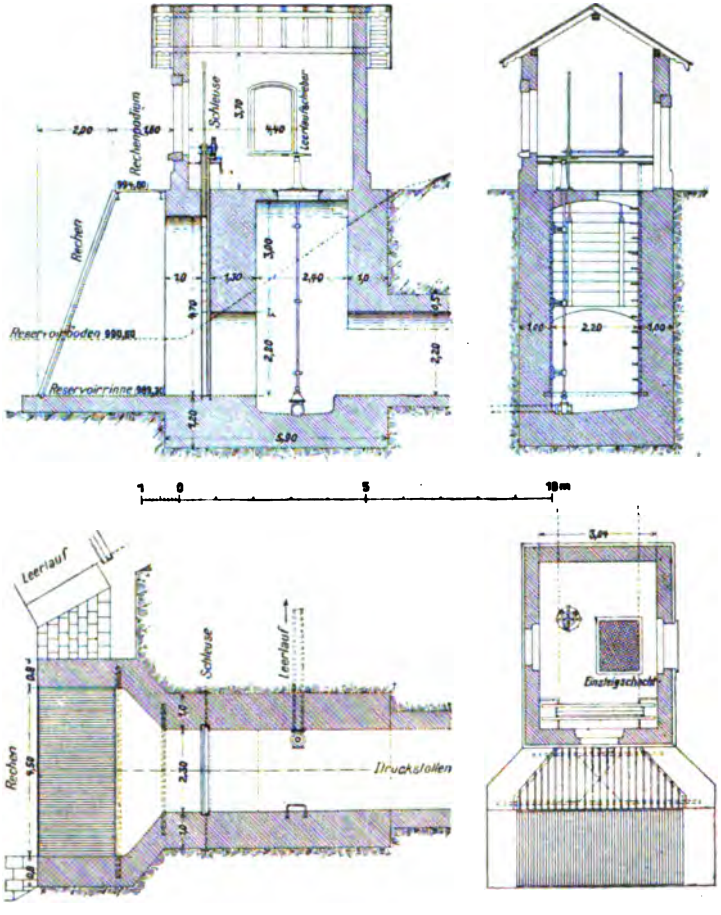


Abb. 73. Der Einlauf in den Zuleitungsstollen für das Elektrizitätswerk Luzern-Engelberg.

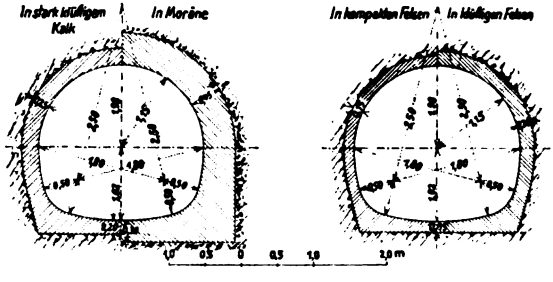


Abb. 74. Querschnitte des Zuleitungsstollens für das Elektrizitätswerk Luzern-Engelberg.
Querschnitt 4,15 qm. Wasserführung 1 bis 2,5 cbm/sek.
Sohlengefälle 1,2 v. T.
Ausmauerung in Zementbeton (1 : 3 : 5).

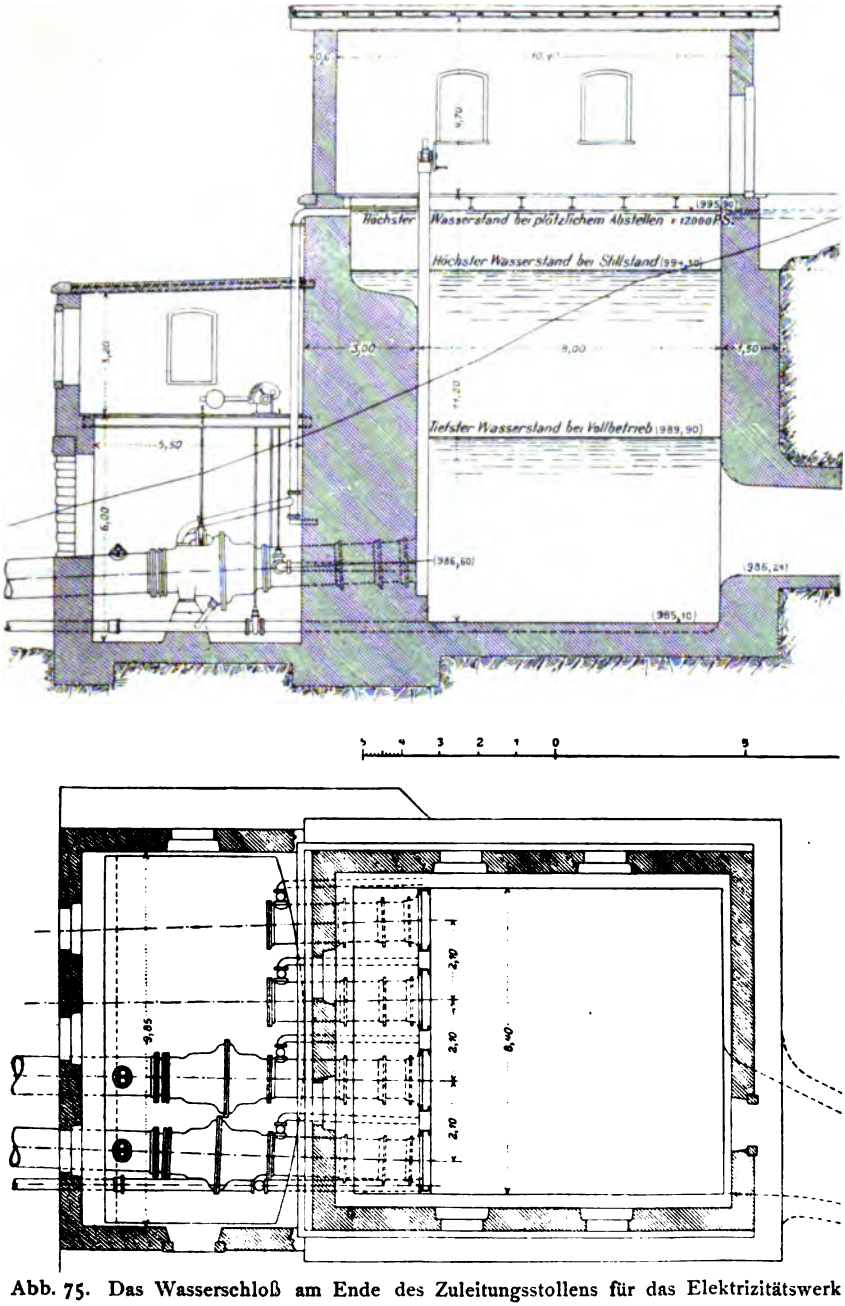


Abb. 75. Das Wasserschloß am Ende des Zuleitungsstollens für das Elektrizitätswerk Luzern-Engelberg.

7566 m lange Tunnel von den Sandfängen führt bis zum Behälter des Wasserschlosses. Die Tunnelquerschnitte sind in Abb. 71 abgebildet. Wandungen und Sohle sind aus Beton, das Deckengewölbe aus Bruchsteinmauerwerk hergestellt. Um die Wassergeschwindigkeit zu erhöhen und den Beton wasserundurchlässig zu machen, sind die vom Wasser bespülten Wandflächen mit glattem Portlandzementverputz versehen. Der Stollen hat ein Gefälle von 0,1 v. H. Seine Leistungsfähigkeit beträgt 7,9 cbm/sek. Hierbei reicht der Wasserspiegel bis zur Kämpferhöhe. Bei voller Belastung fließt das Wasser mit einer mittleren Geschwindigkeit von $2^1/_2$ m/sek. und hat daher rd. 1 Stunde nötig, um von der Wehranlage bis zum Behälter des Wasserschlosses zu gelangen (Abb. 72). Eine in den Behälter eingebaute $20^1/_2$ m lange Überfallmauer, deren Krone 0,80 m tiefer liegt als die Bedienungsplattform bei den Schleusen, dient zur Ableitung des überschüssigen Wassers. Der Wasserquerschnitt im Behälter ist so bemessen, daß die Geschwindigkeit beim Rechen bei voller Belastung 0,30 m beträgt; dabei lagert das Wasser an der Sohle des Behälters weitere Sinkstoffe ab, die von Zeit zu Zeit oder auch ununterbrochen durch die Leerlaufschleuse abgeleitet werden können. Letztere dient auch zur gänzlichen Entleerung des Behälters. Bemerkt wird, daß es nach den Erfahrungen in der starken Abnutzung der Turbinen vorteilhaft gewesen wäre, den Behälter größer zu machen, um die Wassergeschwindigkeit noch mehr zu verringern und eine Ablagerung auch der feinen im Wasser schwebenden Teilchen zu erzielen. Im Behälter ist ferner eine ziehbare Schneeschleuse eingebaut, die ungefähr 1 m tief in das

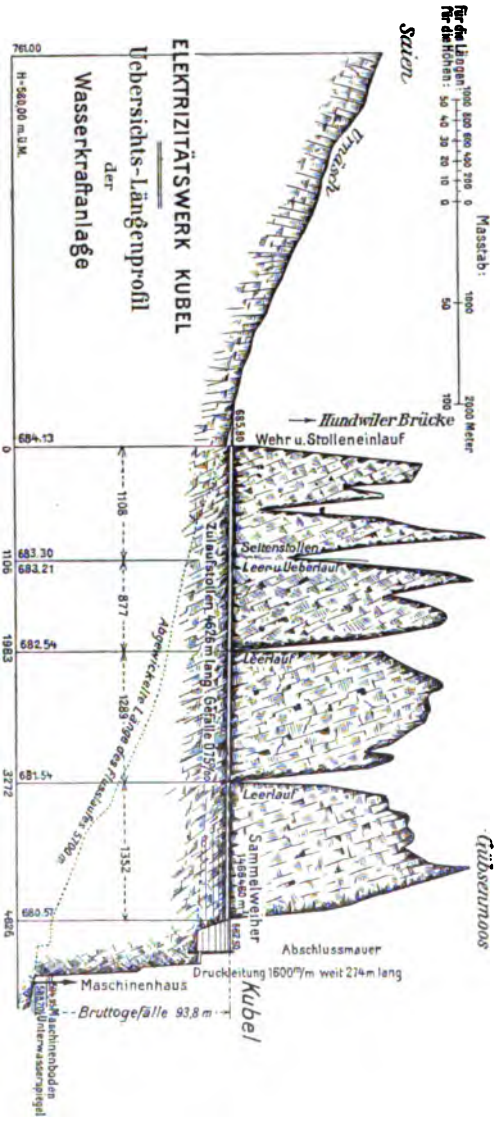


Abb. 76. Nach Elektr. Zeitschr. (E. T. Z.) 1904.

Wasser eintaucht und schief zur Wasserrichtung gestellt ist. Vom Behälter zweigen 2 Rohrleitungen ab, die mit Schützen gesperrt werden können. Damit keine Schwimmkörper in die Rohrleitungen gelangen, ist vor deren Mündung ein eiserner Rechen von 14 mm Maschenweite angebracht. Den Zweck eines Ausgleichbeckens erfüllt der Behälter nur in geringem Maße. Der Betrieb hat daher so zu erfolgen, daß auch bei größtem Bedarfe stets etwas Wasser über den Überfall abfließt[1]).

Der Zulaufstollen und das Wasserschloß des Elektrizitätswerkes Luzern-Engelberg (Abb. 73 bis 75). Der Stollen hat eine Länge von 2558,60 m; das Sohlengefälle ist durchgehend 1,2 v. T. und der lichte Stollenquerschnitt mißt 4,159 m. Das Normalprofil des Zulaufstollens (Abb. 74) ist fast kreisförmig von 2,30 m wagerechter und 2,17 m senkrechter Achsenlänge; es ist der Querschnitt annähernd dem Seilpolygon angepaßt, das sich aus dem innern Wasserdrucke ergibt. Die Stärke der Mauerung schwankt von 15 cm bis 45 cm, je nach der Beschaffenheit des Gebirges. In der Ausführung kam das leichteste Profil gar nicht zur Anwendung, während das schwerste Profil mit 45 cm Stärke fast auf die Hälfte der Stollenlänge ausgeführt wurde. Der Übergang vom Zulaufstollen in die Druckleitung findet im Wasserschloß (Abb. 75) statt. Dieses hat sowohl den Zweck Stöße, die infolge von plötzlichem Abstellen der Druckleitung bei Kurzschluß oder beabsichtigter Unterbrechung durch die im Stollen in Bewegung befindliche Wassermenge erzeugt werden, auszugleichen, als auch Raum zu bieten für die zweckmäßige Anordnung der Einläufe in die Druckleitungen und für das Anbringen der nötigen Abschluß- und Sicherheitsapparate für letztere. Das Wasserschloß besteht aus einem betonierten, überbauten und überdachten Behälter von 8,00 : 8,40 m Querschnitt und 11,20 m Tiefe und einem kleinen Vorbau. Im Vorbau befinden sich je 2 automatische Rohrabschlüsse, Luftröhren und Umleitungen, sowie eine Entleerungs- und Spülvorrichtung für das Wasserschloß mit den nötigen Schiebern und sonstigen Hilfseinrichtungen[2]).

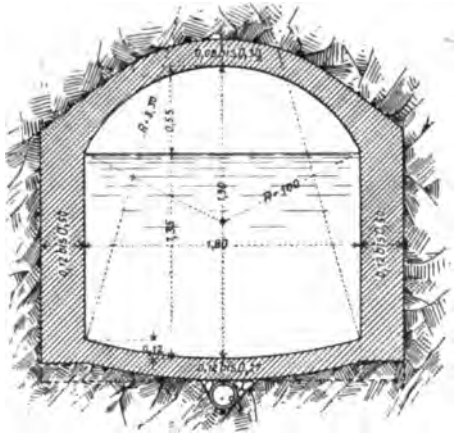


Abb. 77. Zuleitungsstollen vom Wehr in der Urnäsch zum Sammelweiher für das Elektrizitätswerk Kubel bei St. Gallen (Schweiz). Auskleidung in Zementbeton.

Die Zuleitungsstollen des Elektrizitätswerkes Kubel (Abb. 76 u. 77). Das Fassungsvermögen des Stollens wurde auf 3,6 bis 4,0 cbm/sek. festgesetzt. Sein Sohlengefälle beträgt 0,75 v. T. Die Auskleidung und Einwölbung geschah in Zementbeton, der für Sohle und Widerlager an den Fels angegossen wurde, und zwar je nach der Natur des Gebirges in verschiedenen Stärken. Wo das Profil zu weit ausgebrochen war, wurde vorerst eine trockene Hintermauerung ausgeführt. Als Rahmen für die Verschalung, die für die Gewölbe aus schmalen, parallel zur Achse laufenden Brettchen bestand, dienten leichte

1) N. Z. d. V. deutsch. Ing. 1906.
2) Nach Schweiz. Bauz. 1906.

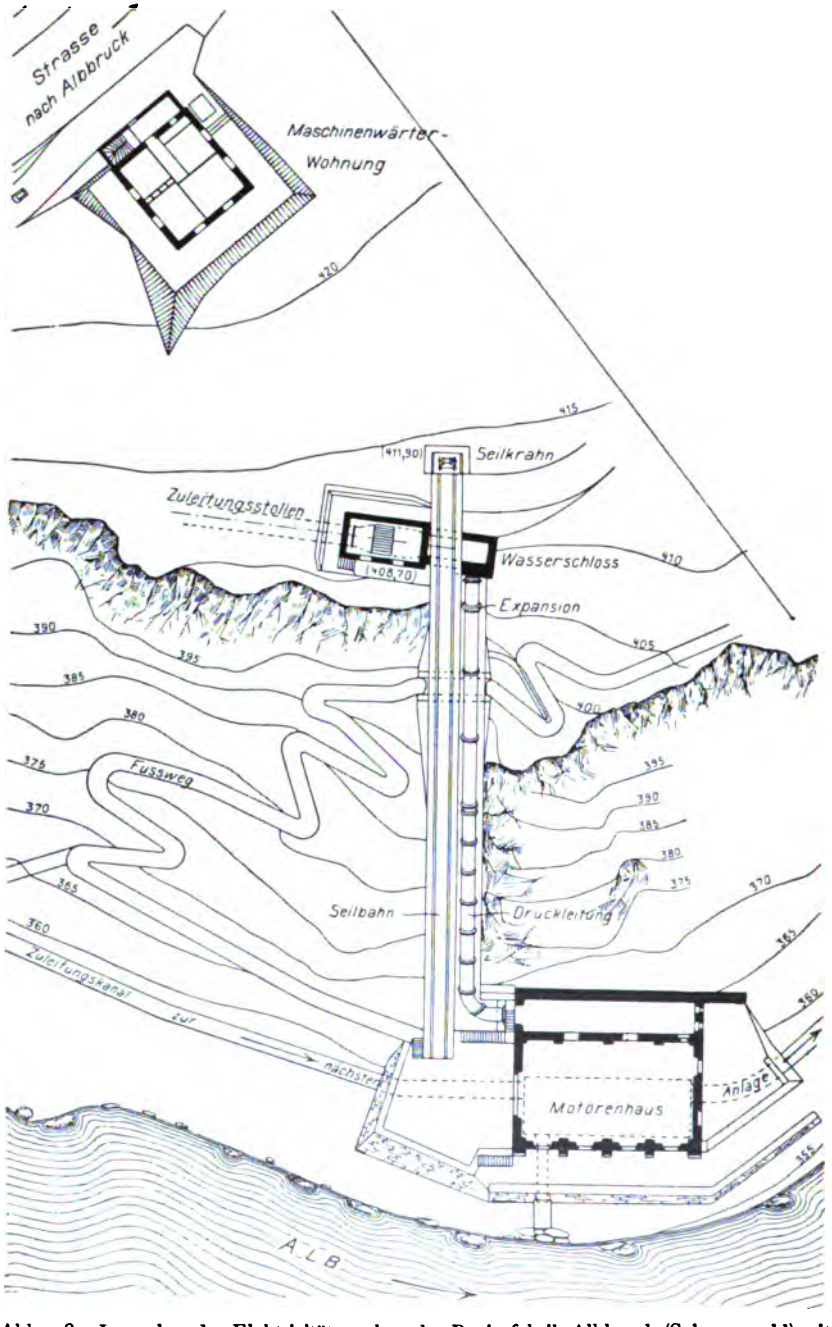


Abb. 78. Lageplan des Elektrizitätswerkes der Papierfabrik Albbruck (Schwarzwald) mit Motorenhaus, Druckleitung, Wasserschloß, Zuleitungsstollen, Seilbahn und Maschinenwärterhaus.

Leerbogen aus I-Eisen, die an den Kämpfern mit Scharnieren versehen waren, um leicht ein- und ausgeschoben werden zu können[1]). Die gesamte Stollenlänge des Werkes beträgt nach Hinzunahme der Sitter zur Kraftspeisung rd. 8460 m.

Der Zulaufstollen und das Wasserschloß des Elektrizitätswerkes Albbruck (Papierfabrik) im Schwarzwald (Abb. 78). Die Zuführung des Wassers von der Schleusenkammer zum Wasserschloß ist unterirdisch als Stollen im Gneis ausgesprengt und 1410 m lang. Die Stollenachse folgt in mehrfach gebrochener Linie der linksseitigen Wand der Albschlucht unter tunlicher Kürzung der ausgebogenen Felspartien. Die vielfachen Beschädigungen, die das hölzerne Gerinne eines 1890 gebauten Zuleitungskanals, sei es durch das Herabstürzen losgewordener Felsstücke, sei es durch böswillig von der Landstraße herabgewälzte Blöcke, erlitt, auch die in naher Zeit wegen Fäulnis des Holzes in Aussicht stehenden Ausbesserungen und Erneuerungen mit den damit zusammenhängenden Betriebsstörungen, haben dazu geführt, den Zuleitungskanal ganz als Stollen auszuführen und dafür die möglichst kürzeste Linie zu suchen. Diese Lage im Innern des Felsrückens hat zudem den Vorteil, daß bei strenger Kälte die Temperatur des Wassers nicht zu weit sinken kann. Der Leitungsstollen hat eine lichte Weite von 1,80 m, eine Höhe von 1,90 m bis 2,0 m. Wände und Sohle sind ausgefüttert und mit einem glatten wasserdichten Zementputz versehen. Der Eintritt des Wassers aus dem Stollen in die Druckleitung erfolgt in einer zum Teil in Felsen eingeschnittenen Kammer, die mit einem abschließbaren Häuschen verdeckt ist. Der Wasserzufluß kann durch eine Zugschleuse geregelt oder gänzlich abgesperrt werden. Vor dem Eintritt des Wassers in die Druckleitung ist ein engmaschiger Rechen mit 17 mm weiten Öffnungen zwischen den Stäben angebracht, dessen Bedienung und Reinhaltung namentlich im Spätherbst und bei Hochwasser viel Arbeit macht. Der Raum über der Wasserkammer wird im Winter geheizt[2]).

Druckrohrleitungen.

Wenn in den vorerwähnten Anlagen die Druckrohre nur einen Teil der Wasserzuführung bilden, so finden sich doch auch vielfach Geländeverhältnisse, bei denen zweckmäßig die Überleitung vom Staubecken oder einer anderen Wasserfassung nach dem Kraftwerk ganz in geschlossenen Rohrleitungen erfolgt. Man wird die Frage aufwerfen dürfen, bis zu welchem kleinsten Längsgefälle ein Tal für die Kraftgewinnung durch eine Druckleitung verwertbar ist. Eine kurze Aufrechnung gibt darüber Aufschluß. Es seien Q in Litern die verfügbare Wassermenge und A in Mark die Kosten für ein laufendes Meter der fertigen Rohrleitung. Auf ein Meter Talgefälle erhält man bei 75 v. H. Nutzwirkung eine nutzbare Kraft von $\frac{Q}{100}$ Pferdestärken, deren Wert $\frac{Q \cdot P}{100}$ beträgt, wenn die Turbinenpferdekraft mit P Mark in Ansatz gebracht wird. Die Kosten der Leitung für die Strecke x, auf welcher das Talgefälle 1 m beträgt, sind

1) Nach Schweiz. Bauz. Bd. XLIII.
2) Nach Schweiz. Bauz. Bd. XLII.

$A \cdot x$ und bei einem Satze von p v. H. für Zinsen, Unterhaltung und Tilgung ist die jährliche Aufwendung $\frac{A \cdot x \cdot p}{100}$. Sollen Einnahmen und Ausgaben sich das Gleichgewicht halten, so ergibt sich $\frac{A \cdot p \cdot x}{100} = \frac{Q \cdot P}{100}$, woraus $x = \frac{Q \cdot P}{A \cdot p}$. Hierin ist der Reibungsverlust nicht berücksichtigt, doch in dieser gering bei einer Wassergeschwindigkeit < 1 m/sek. und größerer Rohrweite. Man wird bei mittleren Verhältnissen finden, daß noch schwache Längsgefälle von 1:100 und weniger hinreichen, um aus einer Druckleitung wirtschaftliche Erfolge zu erzielen. Ausgeführte Anlagen lassen dies praktisch erkennen.

Ein Beispiel bietet das Kraftwerk von Champ (Isère). Der Drac, Nebenfluß der Isère, fließt dort in einer weiten Ebene hin, wo es nicht gut möglich war, weder einen Hangkanal anzulegen, noch ein Stauwerk quer durch das Tal, welches mehrere Kilometer hätte lang werden müssen. Man hat hier das Wasser des Flusses durch ein kleines Wehr gefaßt und führt es in einer Rohrleitung, die in der Ebene, fast im Flußbett in einem Gefälle von 1:150 eingebettet liegt, zum Kraftwerk hin.

Die Berechnung der notwendigen Druckhöhe bei der Bewegung des Wassers in geschlossenen Rohrleitungen oder Druckstollen geschieht nach der Formel

$$h = \left(1 + \xi + \lambda \frac{l}{d}\right) \frac{v^2}{2g},$$

worin bedeutet

l Länge der Leitung in m,
d Durchmesser der Leitung in m,
h Druckhöhe in m,
ξ Widerstand beim Eintritt des Wassers in die Leitung,
λ Reibungskoeffizient für die Bewegung des Wassers an den Rohrwandungen,
v Geschwindigkeit des Wassers in m/sek.,
g die Beschleunigung durch die Schwere.

Bei beliebigem Querschnitt F und Umfang U ist

$$\text{für } \lambda \frac{l}{d} \text{ zu setzen: } \lambda \frac{U}{4F} \cdot l.$$

Die 3 Teile der obigen Formel haben folgende Bedeutung:

$\frac{v^2}{2g}$ ist die notwendige Druckhöhe, um dem Wasser die Anfangsgeschwindigkeit zu erteilen;

$\xi \frac{v^2}{2g}$ ist der Verlust infolge Zusammenziehung beim Eintritt des Wassers in die Leitung;

$\lambda \frac{l \cdot v^2}{d \cdot 2g}$ ist die Reibungshöhe des Wassers an den Rohrwänden[1]).

Bei langen, möglichst gerade geführten Rohrleitungen, wie sie bei Kraftanlagen meist vorkommen, und bei geringen Geschwindigkeiten, die den Wert $v = 1$ nicht überschreiten, kommt im allgemeinen nur der wirkliche Reibungsverlust in der Rohrstrecke in Betracht. Die notwendigen Druckhöhen für Erteilung der Anfangsgeschwindigkeit, der Eintrittsgeschwindigkeit und Verluste in den Krümmungen können außer acht gelassen werden, und man hat die Beziehung

$$h = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}.$$

Bei kürzeren Leitungen wird man den Eintrittswiderstand berücksichtigen. Es ist ξ im Mittel $= 0{,}505$. Der Wert sinkt aber bei Abrundung der Einmündung bis auf 0,08 herab. Man rechnet für größere Rohrleitungen und Stollen mit möglichst günstig gestaltetem Einlauf $\xi = 0{,}2$, bei trichterförmig ausgebildetem Einlauf zu großen Rohren selbst $\xi = 0{,}1$.

Die Widerstandshöhe in starken Krümmungen hat den Wert $v = \xi_1 \frac{v^2}{2g}$. Es ist

	Außenwinkel der Abzweigung	
	$\alpha = 60°$	$\alpha = 90°$
$\xi_1 =$	$^1/_3$	1

Der Wert λ hängt nach neueren Versuchen weniger von v als von dem Durchmesser des Rohres ab. Nach Darcy ist für Rohre mit glatten Wandungen

$$\lambda = 0{,}01989 + \frac{0{,}0005078}{d}.$$

Bei Rohren, die durch Rost oder Niederschläge rauh geworden sind,

1) Weiteres vergl. Hütte, Des Ingenieurs Taschenbuch, Tolkmitt-Bubendey, Wasserbaukunst u. a. Handbücher, deren Tabellen diese Aufrechnungen schnell durchführen lassen.

nimmt das Abführungsvermögen erheblich ab und man wendet für die Ermittlung von λ einen Sicherheitskoeffizient an, der zwischen 1 und 2 schwankt. Man hat demnach

$$\lambda = \left(0{,}01989 + \frac{0{,}0005078}{d}\right)\sigma.$$

Bei sehr reinem Wasser und vor Rost geschützten Rohren ist $\sigma = 1$ oder wenig mehr. Bei unreinem Wasser und Rostansatz rechnet man $\sigma = 2$ und mehr. Für rauhe Wandungen aus Bruchstein oder gespitztem Quadermauerwerk nimmt man etwa $\sigma = 1{,}7$. Dann wird $\lambda = 0{,}033$.

Über die Verminderung der Leistungsfähigkeit der Leitungen durch Rostansatz siehe auch S. 185.

Der Darcysche Reibungskoeffizient ist aus Versuchen mit Rohren ermittelt, deren Lichtweite zwischen 0,027 und 0,5 m schwankte. Es muß somit zweifelhaft erscheinen, ob die Darcyschen Formeln für große Rohrweiten und Stollen volle Gültigkeit haben. Hoffentlich erzielt der Betrieb der neueren Talsperrenanlagen mit den erheblichen Rohr- und Stollenabmessungen weitere Aufklärung in dieser wichtigen Frage. Wo sich irgend Gelegenheit bietet, sollte man entsprechende Beobachtungen machen.

Wenn man sich nach vorstehenden Formeln die Reibungsverluste berechnet, so gibt eine zeichnerische Darstellung ein übersichtliches Bild der Gefäll- und Druckverhältnisse einer Rohrleitung (Abb. 79). Als Ausgangspunkt ist in diesem Falle die Abzweigung der Rohrleitung in der Sohlenhöhe einer Talsperre gedacht. Die errechneten Reibungshöhen für die Strecken von dem Staubecken bis zu den Punkten a, b, c, d, e ... sind durch die Größen wa, wb, wc, wd ... von der Horizontalen abgetragen. An den einzelnen Stellen erhält man dadurch die verbleibenden Nutzhöhen $h_1 - wa$ usw. Am Kraftwerk ist die Druckhöhe $h = H - w$ nutzbar. In einem hier etwa vorhandenen Standrohre würde das Wasser, wenn die Turbinen arbeiten, um das Maß h hochstehen, während es sich bei Stillstand bis zur vollen Höhe H hebt.

Die Linienführung der Druckleitung gestaltet sich für den Betrieb des Kraftwerkes am günstigsten, wenn das Rohr von dem Sammelbehälter zu den Turbinen ohne Höhen- und Tiefenpunkte abfällt (Abb. 80). Höhenstellen in der Linienführung geben zu Luftansammlung Anlaß, die den Rohrquerschnitt versperren, und Tiefenstellen führen zu Ablagerungen und Verschlammungen. Dadurch kann eine

Ungleichmäßigkeit des Wasserlaufs eintreten, die besonders bei Druckleitungen für Kraftzwecke Störungen im Gange der Maschinen zur Folge haben würde. Durch Einschaltung von zum Teil selbsttätigen Vorrichtungen für Entlüftung, Entwässerung und Entlastung bei zu hohem Innendruck ist man imstande, schädlichen Beeinflussungen der Wasserführung durch Höhen- und Tiefenpunkte entgegenzuwirken (siehe unten). Dessenungeachtet hatte man in früheren Jahrzehnten gegen die Linienführung mit Knickpunkten sehr große Betriebsbedenken. Zu dieser

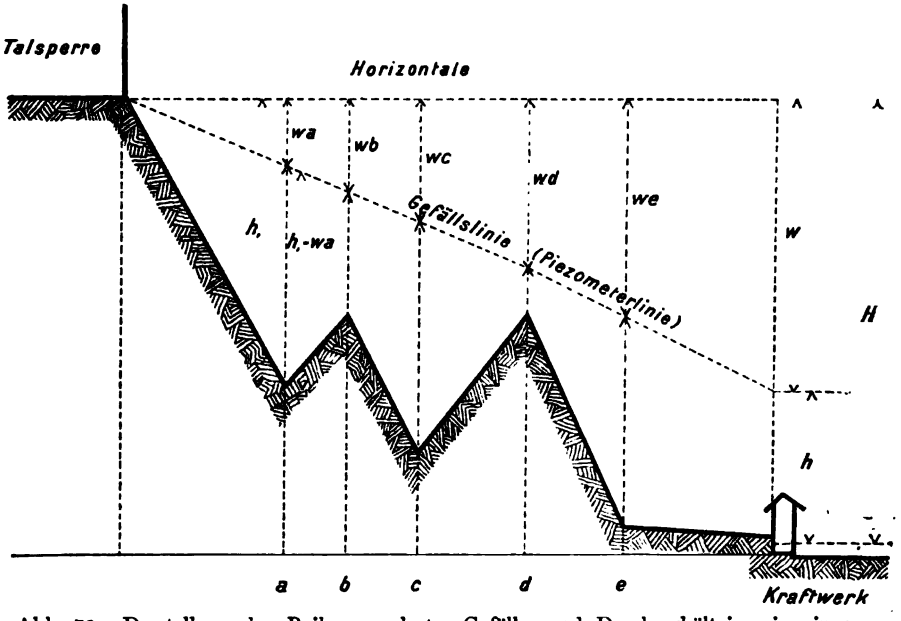
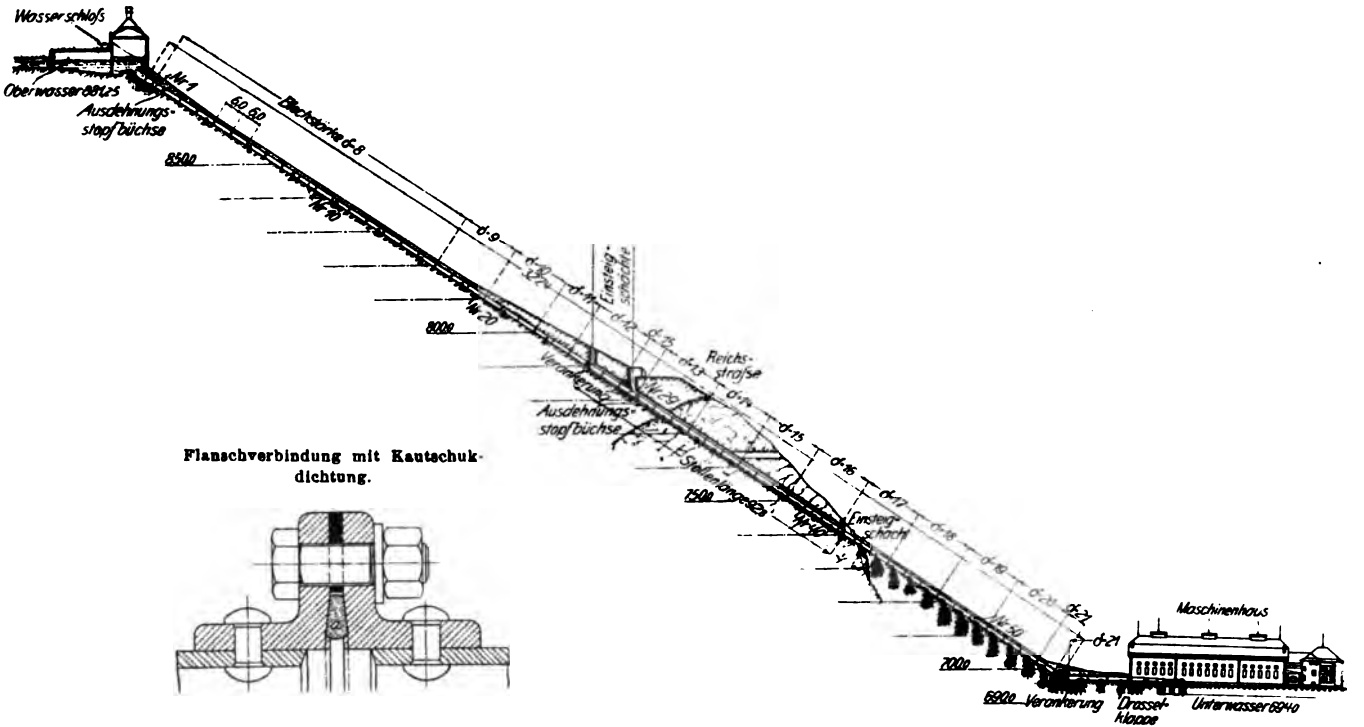


Abb. 79. Darstellung der Reibungsverluste, Gefälls- und Druckverhältnisse in einer Druckrohrleitung.

Frage ist bemerkenswert eine Äußerung von Schneider über die Rheintal-Wasserleitung der Stadt Elberfeld (1881). Er schreibt: »Zu einem einfachen Betriebe trägt wesentlich die Vermeidung von Luftansammlungen, sogenannten Luftsäcken, d. h. solchen Stellen in der Rohrleitung bei, wo Steigung in Gefälle übergeht, wo also die stets nach oben steigende Luft Gelegenheit hat, sich anzusammeln. Jedem Betriebsführer von Wasserleitungen sind die verheerenden Wirkungen, welche die eingeschlossene Luft aus wohl naheliegenden, aber doch nicht völlig aufgeklärten Gründen auszuüben vermag, bekannt. Deshalb



Flanschverbindung mit Kautschuk-dichtung.

Nach Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1905.

Abb. 80. Höhenplan der Druckleitung für die Sillwerke bei Innsbruck.

Gefällhöhe: 187 m. Zwei genietete Druckrohre von 1250 mm Durchmesser. Länge der Leitung 327, davon 93 m in Tunnel. Blechstärke 8 bis 21 mm. Beanspruchung 800 kg/qcm. Zerreißfestigkeit des Materials 3600—4200 kg/qcm. Für Abnutzung ist ein Zuschlag von 1—1$^1/_2$ mm zur theoretisch erforderlichen Wandstärke. Wassergeschwindigkeit 1,05 bis 3,14 m.

ist der Grundsatz, derartige Wechsel zwischen Steigung und Gefälle zu vermeiden, auf der ganzen Linie von Benrath bis Elberfeld mit einer Ausnahme in Vohwinkel aufs strengste durchgeführt.« Bemerkt sei,

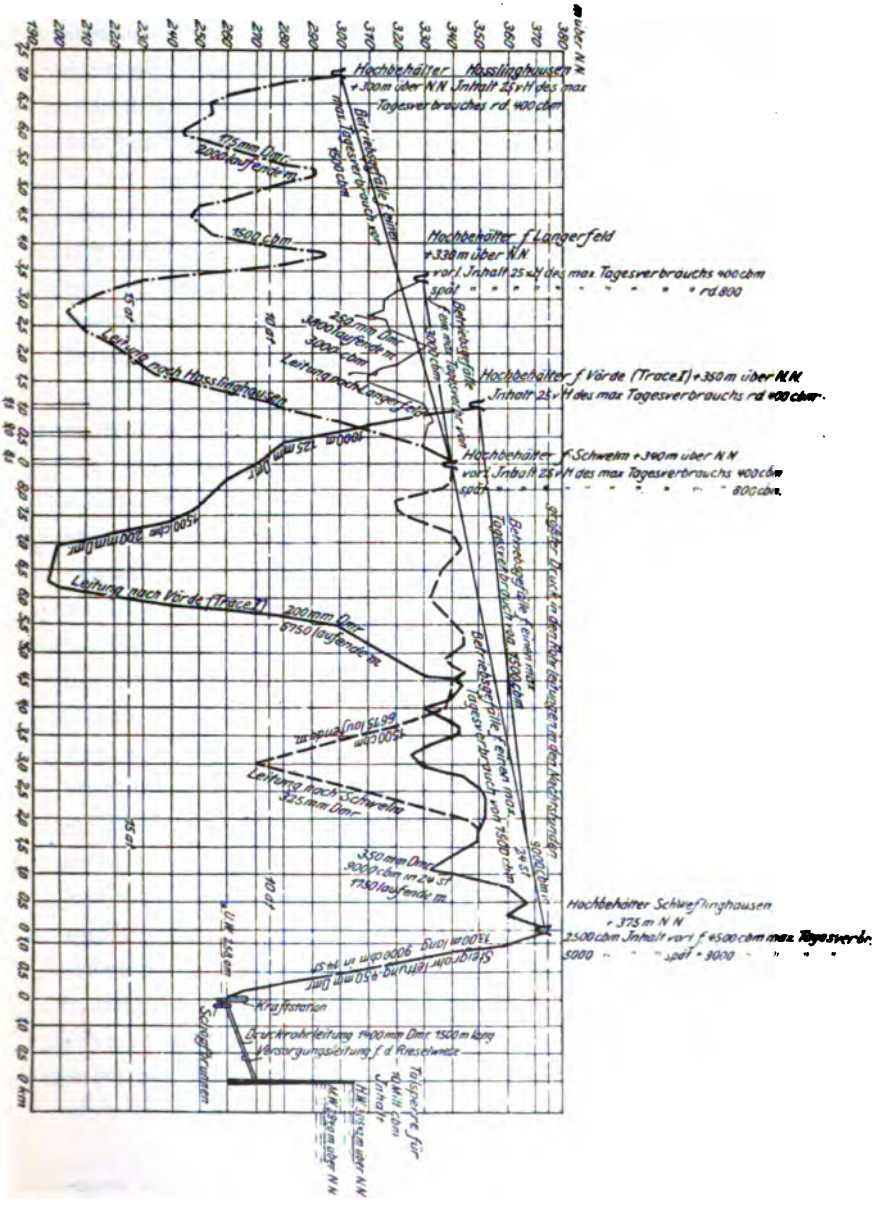


Abb. 80a. Höhenplan der Ennepetalsperre mit Druckleitung und Kraftwerk und den Rohrleitungen und Hochbehälter nebst Darstellung der Betriebsgefälle für den größten Wasserverbrauch zur Trinkwasserversorgung von Schwelm, Langerfeld, Haßlingen und Vörde (Westfalen) aus dem Sammelbecken.

daß die in Rede stehende Leitung 16,6 km lang ist und 550 mm Durchmesser hat.

Neuere Erfahrungen — ein Beispiel hierfür bieten u. a. die Frankfurter Quellwasserleitung und die unten beschriebene 14 km lange Hochdruckleitung von der Talsperre zur Stadt Nordhausen — haben erwiesen, daß sich Wasserleitungen selbst bei wellenförmiger Linienführung im Betriebe gut bewähren können, wenn ein gleichmäßiger Wasserlauf stattfindet. Auch die Trinkwasserhauptleitungen unterhalb der Ennepetalsperre weisen solche Höhenverhältnisse auf (Abb. 80a).

Allerdings werden in solchem Falle, wo das Wasser in einen Vorratsbehälter einläuft, Luftansammlungen und Ablagerungen wohl nicht in dem Maße ungünstig einwirken, als dann, wenn der Druck der Leitung auf Turbinen lastet, die eine gleichmäßige Kraft oder elektrischen Strom erzeugen sollen. Während es bei einer Wasserleitung weniger darauf ankommt, ob wohl einmal in kleinen Zeiträumen Verminderungen des Zulaufs stattfinden, da der Hochbehälter ausgleichend wirkt, würden in dem Kraftwerk sich sogleich Störungen im Gange der Maschinen, die weiterhin auf die Gleichmäßigkeit des erzeugten elektrischen Lichtes Einfluß ausüben müßten, bemerkbar machen. Daneben stellt im besonderen der Betrieb eines Elektrizitätswerkes die Forderung, daß die Kraftentnahme im Laufe des Tages in beliebiger Weise wechseln kann. Man ersieht dies, wenn man die Darstellungen der Belastungskurven solcher Werke verfolgt (Abb. 30). Die Abgabe des elektrischen Stromes schwankt außerordentlich in den einzelnen Tagesstunden, und diese Schwankungen steigen im Laufe einer Stunde wohl bis auf das Mehrfache des Mindestverbrauches des Tages. Dementsprechend muß die Wasserbeaufschlagung der Turbinen größer oder kleiner sein. Die wechselnde Wasserentnahme hat Änderungen in der Wassergeschwindigkeit zur Folge. Die lebendige Kraft der in Fluß befindlichen Wassermenge des Druckrohres muß starke Innendruckbeanspruchungen im Rohre hervorrufen, die im besonderen die Wendepunkte der Linienführung in Gefahr bringen werden. Die gleichen ungünstigen Beanspruchungen entstehen in einer langen Leitung beim Anlassen und Abstellen, so daß große Vorsicht geboten ist, selbst wenn Sicherheitsventile vorhanden sind. Eine wünschenswerte Forderung für eine derartig gestaltete Rohrlinie ist also ein möglichst gleichmäßiger Betrieb.

Die Wahl der richtigen Rohrweite, sowie des dem Zwecke ange-

paßten Rohrmaterials und der Rohrverbindungen ist nicht nur technisch, sondern auch wirtschaftlich von wesentlicher Bedeutung. Der Rohrdurchmesser — eine Funktion der abzuführenden Wassermenge und des Nutzgefälles — darf nicht zu klein sein, um nicht zu hohe Reibungswiderstände bei der Bewegung des Wassers zu erzeugen; auf der andern Seite beeinflußt jedes Zentimeter größerer Lichtweite bei den oft recht langen Rohrleitungen der heutigen Kraftwerke den Gesamtpreis außerordentlich. Beide Einwirkungen sind dauernd. Der höhere Rohrpreis erfordert eine dauernde Verzinsung und die Tilgung einer beträchtlichen Geldsumme, der gesteigerte Reibungsverlust hat für alle Zeit einen Kraftverlust zur Folge, indem er das Nutzgefälle verringert. Es gilt zwischen beiden Einflüssen abzuwägen durch vergleichende Kostenberechnungen, wobei man sich wird zu vergegenwärtigen haben, daß die Reibungshöhen unverhältnismäßig wachsen, wenn die Wassergeschwindigkeit 1 m sekundlich übersteigt[1]). Doch kommen bei kurzen Rohrleitungen auch größere Geschwindigkeiten vor. Amerikanische Druckrohrleitungen weisen Geschwindigkeiten schwankend zwischen 0,9 und 4,5 m/sek. auf. Das Kraftwerk Luzern-Engelberg hat in seinen beiden Druckrohren eine größte Geschwindigkeit von 1,75 m/sek. im oberen Teile und 2,15 m/sek. im unteren Teile der Rohrlinie. Auch der Einfluß großer Geschwindigkeiten von mehr als 2,5 bis 3 m sekundlich auf die Haltbarkeit der Leitung infolge erhöhten Angriffs auf die Rohrwandungen fällt für die Entscheidung ins Gewicht. Über die theoretisch erforderliche Weite tut man gut, noch einen Zuschlag zu machen. Denn erfahrungsgemäß bilden sich an Rohrleitungen selbst bei reinem Wasser Ablagerungen und knollenartige Rostansätze. Diese Einflüsse im voraus genau zu erkennen, ist nicht wohl möglich. Für die Beurteilung der Verminderung der Leistungsfähigkeit einer Rohrleitung möge folgender Versuch an der etwa 14 km langen und 30 Jahre alten Trinkwasserleitung der Stadt Nordhausen mitgeteilt werden. Auf Grund von unmittelbaren Messungen im Oktober 1902 konnte die Leistungsfähigkeit der Leitung aus dem Langentale, woher die Stadt ihre Trinkwasserversorgung bezieht, in ihrem damaligen Zustande in Vergleich gestellt werden mit der Leistungsfähigkeit einer neuen Leitung mit glatten Wandungen unter sonst gleichen

1) Wirtschaftliche Aufrechnungen und Ableitungen allgemeiner Ergebnisse über die zweckmäßigste Rohrweite für Hochdruckleitungen s. Proceedings, Amer. Soc. of Civ. Engin. Mai 1907.

Umständen. Die Leistungsfähigkeit einer neuen Leitung bei 245 mm l. W., 35,1 m Gefälle und 11 400 m Länge hätte rechnungsmäßig 35,8 l/sek. betragen müssen. Tatsächlich flossen aus der Leitung in den Hochbehälter der Stadt, dessen Inhalt genau feststand, nur 21,2 l/sek. Es war also eine Verminderung der Leistungsfähigkeit von $\frac{21,2}{35,8} = 0,592$ eingetreten.

Für mäßige Inkrustation und für die übliche Zeitdauer des Bestandes eiserner Leitungen wird es genügen, eine Verminderung des Abführungsvermögens auf 0,8 der neuen Leitung anzunehmen.

Im allgemeinen macht der Kraftverlust durch Gefällverminderung in Geldwert umgesetzt sich stark bemerkbar, und man wird gut tun dieses Kapital auf die Gewinnung größerer Kraft in besserer Wasserführung anzulegen, weil vermehrte mechanische Kraft unter heutigen Verhältnissen für das Wirtschaftsleben immer einen Vorteil und ein werbendes Kapital bedeutet. Es ist bemerkenswert, daß die geschäftskundigen Amerikaner es vorziehen, dem Zweck angepaßte große Rohrweiten zu wählen — Weiten, die uns mitunter ungewöhnlich reichlich bemessen scheinen. Man schätzt dort eben die mechanische Kraft sehr hoch ein.

Es ist unvorteilhaft, eine Rohrleitung von Anfang bis Ende bei gleichem Durchmesser mit gleicher Wandstärke herzustellen. Das gibt eine schlechte Ausnutzung des Materials. Richtiger erscheint es, die Wandstärke nach unten hin mit steigendem inneren Druck stufenmäßig zu vergrößern, so daß die Einheitsbeanspruchung immer die gleiche bleibt. Das andere Mittel, das zu Ersparnissen führt, besteht darin, nach unten hin den Durchmesser zu verringern bei ungeminderter Blechstärke, so daß die Zugbeanspruchung ebenfalls dieselbe bleibt. Catani[1]) schlägt vor, beide Mittel gleichzeitig anzuwenden — den Durchmesser zu verkleinern und die Wandstärke zu erhöhen, ein Verfahren, das neuerdings zur praktischen Ausführung gelangt ist. Die Druckleitung des im Bau begriffenen Löntschwerkes (Schweiz) verengt sich von 1350 mm des inneren Durchmessers auf 1100 mm. Die Wandstärke nimmt zu von 7 mm im oberen Teile auf 30 mm im unteren Teile, bei einem Gesamtgefälle der Druckleitung von rd. 330 m[2]).

Bemerkenswert ist in dieser Hinsicht die hydro-elektrische Kraftanlage

1) E. T. Z. 1905 S. 306.
2) Schweiz. Bztg. 15. 6. 07.

der Cauvery-Fälle in Indien, bei der die Hauptrohrleitungen in 4 Zonen von je 1140, 1070, 990 und 915 mm Durchmesser eingeteilt wurden, so daß es möglich war, die Rohrstöße für den Transport ineinander zu stecken, wodurch die Kosten der Beförderung wesentlich verbilligt wurden. Die Rohrstöße wurden dann an Ort und Stelle zusammengenietet.

Aus den Beziehungen von Wassermenge und Gefällhöhe zur Rohrweite und Wassergeschwindigkeit hat Tams ein interessantes Schaubild für Kraftleitungen entwickelt, das auf der Grundlage einer Länge des Druckrohres von 1000 Fuß es ermöglicht, z. B. bei gegebener Gefällhöhe h und Wassermenge Q die Weite des Rohres zu ermitteln, die erforderlich ist, um eine Höchstleistung an Kraft mit der gegebenen Höhe und Leitungslänge zu erzielen[1]).

Die Berechnung der Wandstärke oder der auftretenden Beanspruchungen in den Wandungen der Rohre kann erfolgen nach der Formel:

$$\delta = \frac{D \cdot p}{2 \cdot k},$$

worin bedeutet

D Rohrdurchmesser in cm,
p innerer Druck in kg/qcm,
δ die Wandstärke in cm,
k die Beanspruchung in kg/qcm.

Man rechnet

für Schmiedeeisen 600 bis 800 kg/qcm,
bei 5 bis 6facher Sicherheit,
für Gußeisen 180 kg,
bei etwa 7facher Sicherheit.

Die Berechnung der Druckrohre beim Kraftwerk Luzern-Engelberg (Durchm. 0,9 bis 1,0 m, Gefälle 300 m) ist so erfolgt, daß bei ruhender Wassersäule die Zugbeanspruchungen der schwächsten Stellen nicht mehr als $^1/_5$ der Zugfestigkeit des Materials betragen. Die Zerreißfestigkeit des Eisenblechs (Siemens-Martin-Flußeisenblech) der genieteten Rohre betrug 34 bis 42 kg/qmm, die Dehnung 22 bis 25 v. H. Die Festigkeit wurde durch Proben untersucht. Die Niete aus Schweißeisen hatten 38 bis 40 kg/qmm Zugfestigkeit und mind. 20 v. H. Dehnung. Die Nietlöcher wurden gebohrt, die Bleche an den Kanten gehobelt.

1) The Eng. Rec. 1905 I S. 440. Weiteres s. auch Z. d. V. d. Ing. 1906 S. 1954.

Die Druckleitung des Kraftwerkes Kardaun bei Bozen (Tirol) ist bei 220 m Nutzgefälle und 900 mm Durchmesser entsprechend dem wachsenden Innendruck in 11 Abschnitte geteilt. Im obersten Teile beträgt die Blechstärke 5 mm und nimmt in jeder Zone um 1 mm zu bis zur größten Stärke von 15 mm im untersten Teile. Die Leitung ist aus genietetem Flußstahlblech hergestellt und mit Flanschendichtung versehen[1]).

Über die Materialfrage, ob bei Wasserleitungen gußeiserne oder

Abb. 81. Rohr von 3,3 m Durchmesser aus genietetem Stahlblech für die Druckleitung der Kraftanlage von Champ (Isère).

schmiedeeiserne Rohre zweckmäßiger sind, herrscht zur Zeit Meinungsverschiedenheit — eine Fehde, die mit besonderem Eifer naturgemäß von den liefernden Werken geführt wird. Aber auch die Verwaltungen sind an diesem Gegenstande in hohem Maße interessiert. Das Schmiedeeisen ist der Eindringling auf diesem Gebiet, der sich das Feld gegenüber einem alten, bisher so ziemlich allein herrschenden Gegner zu erobern hat. Obwohl Schmiedeeisen in genieteten Rohren für große

1) Z. f. d. ges. Turb. 1907.

Weiten schon früher geliefert wurde (Abb. 81 u. 82), auch das Mannesmannverfahren für kleine Rohre bis etwa 300 mm Durchmesser in Wettbewerb trat, ist doch die Streitfrage seit kurzem erst brennend geworden, nachdem die Schweißung mit Wassergas einen sichern Schluß der Naht von 95 v. H. der Festigkeit der Blechwand hat erreichen lassen, während die Nietnaht nur etwa 70 v. H. aufwies. Die geschweißten Rohre können überdies in beliebigen Weiten bis etwa 3 m und in Baulängen bis etwa

Abb. 82. Bau der genieteten Druckleitung von 3,3 m Durchmesser für die Kraftanlage von Champ (Isère).

46 m geliefert werden. Schmiedeeiserne Muffenrohre größeren Durchmessers können ohne Quernähte gegenwärtig bis etwa 6 m Länge hergestellt werden. Darüber hinaus sind Quernähte erforderlich. Bei längeren Rohren entstehen aber wesentlich erhöhte Förder- und Verlegeschwierigkeiten, die den Vorteil der weniger Muffen überwiegen. Die übliche Länge pflegt 6 bis höchstens 10 m zu sein, wobei die Rohre noch eben ohne übergroße Schwierigkeiten an Ort und Stelle gebracht und eingebaut werden können. Nur aus besonderen Gründen bei Fluß- oder

Bahnkreuzungen empfiehlt es sich, größere Längen und dann ein mehrfaches von 6, also 12 oder 18 m zu wählen[1]).

Der geringere und größere Gehalt an chemisch gebundenem Kohlenstoff, welcher den grundsätzlichen Unterschied zwischen beiden Eisenarten bildet, beeinflußt die Eigenschaften dieser Stoffe in zwei Richtungen, von denen je eine günstig ist für jede Materialart. In dem vielen hin und her der gegensätzlichen Meinungen darf als objektive, nichtumstrittene Tatsache gelten, daß der größere Kohlenstoffgehalt dem Gußeisen an sich eine größere Sicherheit verleiht gegen den Angriff durch Rost, als sie das Schmiedeeisen besitzt, daß aber andererseits das Schmiedeeisen eben wegen dieses Mangels an Kohlenstoff elastischer und gegenüber äußerem Druck nachgiebiger ist als das spröde Gußeisen. Die Dehnbarkeit des geschweißten Eisens wird zu 22 v. H. angegeben. Die Zugfestigkeit des Gußeisens für ruhige Last beträgt etwa 1200 kg/qcm, während die des Siemens-Martin-Schweißeisens 3500 bis 4000 kg/qcm erreicht.

Für gutes Gußeisen gelten, wie bemerkt, 180 kg/qcm Zugbeanspruchung als zulässig; doch trifft dies nicht für alles Rohrmaterial zu, das auf den Markt kommt. Jedenfalls empfiehlt es sich, falls so hohe Beanspruchungen in die Rechnung eingeführt werden, Baustoffprüfungen an den einzubauenden Rohren durchzuführen. Gußrohre werden bis etwa 2000 mm l. W. im Durchmesser geliefert.

Aus dem Umstande, daß gerade diese beiden Eigenschaften von solcher Bedeutung in Rohrleitungen sind, erklärt es sich wohl, wenn eine Einigung der Ansichten schwer endgültig und allgemein erreicht wird. Man wird je nach den besonderen Anforderungen im Einzelfalle den einen oder andern Stoff zu wählen haben.

Auf die Rostfrage einzugehen ist schwer, weil diese Frage so sehr eine Sache der Ansichten ist, und weil theoretische Erwägungen aus kurz angestellten Versuchen nicht wohl allein maßgebend sein können und damit nicht zu beweisen möglich ist, was nur langwährende Erfahrungen an ausgeführten im Betriebe befindlichen Leitungen dartun können. Wenigstens trifft dies für Schmiedeeisen zu, dessen Verwendung für diese Zwecke wohl noch nicht über 30 Jahre hinausreicht. Gußeisen hat die Erfahrung für sich; hier sieht man schon klarer. Wenn zwar Aufgrabungen

1, Journal für Gasbeleuchtung u. Wasserversorgung 1907. S. 316.

gezeigt haben, daß auch Gußeisen nicht ganz gefeit ist gegen Rost, so bieten doch — unter sonst gleichen Rostbedingungen wie bei Schmiedeeisen — schon die stärkeren Wandungen der Gußrohre einen wesentlichen Rückhalt. Man hat Rohre, die im Jahre 1790 in Homburg v. d. H. verlegt wurden, vor einigen Jahren ausgegraben und noch vollständig erhalten gefunden. In Versailles hat Ludwig XIV. zu den Wasserwerken in den Jahren 1660 bis 1680 ca. 24000 m gußeißerne Rohre von 325 bis 500 mm Weite eingebaut. Die Leitung soll heute noch — also nach mehr als 200 Jahren — im Betriebe sein[1]).

Von seiten der Verfechter des Schmiedeeisens wird die bessere Erhaltung des Gußeisens zwar anerkannt, aber darauf hingewiesen, daß man im stande sei, durch einen geeigneten Überzug genügenden Rostschutz herbeizuführen, wenn dieser Überzug aus Jute, Asphalt und Teerstoffen auf die Rohre in warmem Zustande unmittelbar im Anschluß an das Schweißverfahren aufgebracht wird. Dieser Überzug, verstärkt durch spätere Anstriche, soll dauernd eine feste und geschlossene Haut abgeben. Die Erfahrungen hiermit erstrecken sich auf noch nicht mehr als etwa 10 bis 15 Jahre. Ein endgültiges Urteil kann also noch nicht gewonnen werden. Auch ist nach neueren Beobachtungen zu vermuten, daß die Art des Bodens, in dem die Rohre gebettet sind, auf die Rostbildung von Einfluß ist. In Kiesboden soll das Verrosten in geringerem Maße als in anderen Bodenarten erfolgen. Die Stadt München hat über den Einfluß der Bodenart auf die Haltbarkeit der Rohre Versuche gemacht, die darin bestanden, daß Guß- und Schmiedeeisenrohre längere Zeit hindurch 1) in Schotter und Sand, 2) in lehmigen Schotter und 3) in Lehm eingebettet wurden. Bei der Ausgrabung wurde festgestellt, daß im ersten Falle die Rohre kaum etwas gerostet waren, im zweiten Falle aber alle stark vom Rost angegriffen waren. Im dritten Falle war im allgemeinen weniger Rost vorhanden, doch sollen die Gußeisenrohre mehr unter dem Rostansatz gelitten haben[2]). Die Wirkung im Erdreich vagabundierender elektrischer Ströme[3]) soll nach Versuchen dem Schmiedeeisen gefährlicher werden als dem Gußeisen. Weiter wird hervorgehoben, daß die heute hergestellten Gußrohre einen verhältnismäßig

1) Verhandlungen des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes vom 4. 1. 1904.

2) Vergl. Litten, das geschweißte Schmiedeeisenrohr nach dem »Zentralblatt für Eisenhüttenwesen.«

3) Journal f. Gasbel. u. Wasservers. 1907 S. 217.

geringen Gehalt an chemisch gebundenem Kohlenstoff und viel Graphit enthalten, der durch im Boden vorhandene Säuren und Salze leicht zersetzt wird. Alle diese Umstände und Einflüsse lassen sich noch nicht durchschauen und erkennen, und ehe hier nicht weitere Klarheit geschaffen wird, wird man in gewöhnlichen Leitungen in ebenem Gelände, die keine hohe Druckbeanspruchung auszuhalten haben und bei günstigen Transportverhältnissen wohl dem Gußeisen den Vorzug geben können, das hinsichtlich der Rostgefahr eine lange Bewährung aufzuweisen vermag und bei fester Lage und ruhigem Betriebsdruck erfahrungsmäßig volle Sicherheit bietet. Jedenfalls tut man in beiden Fällen gut, über die theoretisch erforderliche Wandstärke für die Abnutzung einen Zuschlag von einigen Millimetern zu machen[1]). Im allgemeinen wird man bei Gußeisen mit 7 bis 10facher Sicherheit rechnen, während bei Schmiedeeisen eine 5 bis 6fache Sicherheit genügt.

Abb. 83. Förderung der Rohre mittels Seilbahn für die Druckleitung des Kraftwerkes De la Siagne (Var).

Bei Leitungen mit hohem innern Druck, wie bei den neuern Kraftanlagen, die zudem oft in abgelegenen Gebirgstälern mit ungünstigen Transportverhältnissen eingebaut werden (Abb. 83), spricht nun aber das zweite Moment der Elastizität des Materials wesentlich mit. Normale Gußeisenrohre werden für ruhigen Betriebsdruck bis zu 10 Atm. hergestellt. Bei höheren Drucken erfolgt zwar eine entsprechende Verstärkung der Wandungen. Aber es ist naturgemäß, daß diese Verstärkung grundsätzlich an der Eigenschaft des Gußeisens, seiner Sprödigkeit, nichts zu ändern vermag. Diese wird besonders dann gefährlich, wenn die oben erwähnten Druckschwankungen auftreten, sei es, daß diese durch die Stöße der Pumpen, die von einem tiefgelegenen Kraftwerk das Wasser auf große

1) Über Vorschriften für die Lieferung von Gußeisen vergl. Z. d. V. d. Ing. 1905 S. 404.

Höhe nach einem Behälter heben, entstehen, sei es, daß von einem Sammelraum aus ein hoher Druck auf tiefstehende Turbinen sich entwickelt. Diese hohen innern Pressungen, denen erwiesenermaßen das Schmiedeeisen besser gewachsen ist, sind es, die auch den Anhängern des Gußeisens bei hohem Druck, also von etwa 10 bis 12 Atmosphären ab, die Verwendung des Schmiedeeisens wünschenswerter erscheinen lassen. Allerdings ist nicht zu verkennen, daß auch gußeiserne Rohre sich unter solchen Umständen bewährt haben. Man hat in der Schweiz Gußeisen in Muffenrohren in Gefällen bis zu 600 m Höhe und bis 450 mm Lichtweite eingebaut, und es wird berichtet, daß sich solche Anlagen im Betriebe gut gehalten haben. Die Art der Linienführung dieser Hochdruckstränge ist dabei nicht angegeben. Diese spricht aber, wie früher erörtert, mit, und eine Leitung mit gleichmäßigem Abfall hat günstigere Vorbedingungen für den Wasserfluß als eine Linienführung über Berg und Tal mit Höhen- und Tiefenpunkten. Am Solinger Kraftwerk ist eine Muffen-Gußrohrleitung von 400 mm Weite und 3730 m Länge vom Pumpwerk nach dem 170 m höher gelegenen Hochbehälter vorhanden, die im Betrieb gut liegt. Die Bleidichtungen haben keilförmigen Querschnitt. Bei Neuherstellungen würde man doch vielleicht dem Schmiedeeisen den Vorzug geben wegen der schwierigen Förderverhältnisse der dortigen Gegend. Denn es hat die Erfahrung erwiesen, daß Gußeisenrohre bei schlechten Wegen und schwieriger Fortschaffung, wo es bis zu einem gewissen Grade in der Natur der Sache liegt, daß den schweren Einzelrohren nicht immer die gebotene schonende Behandlung seitens der Arbeiter zuteil werden kann, viele Brüche, besonders an den Schwanzenden und Muffen erleiden. Oft bilden sich feine Risse, die mit dem Auge kaum erkennbar sind und erst sichtbar werden, wenn das Rohr verlegt und einer Druckprobe unterworfen wird. Durch Abstemmen solcher gesprungenen Enden kann zwar der nächste Schaden abgewendet werden, aber dadurch entsteht vermehrte Arbeit des Abstemmens, vermehrte Dichtungsarbeit infolge der kürzeren Rohrstücke, mehr Gefahrstellen für Undichtigkeiten an den Mehrmuffen usw. In Nordhausen a. Harz wurde beim Bau der Druckrohrleitung von der Talsperre nach dem Kraftwerk auf dem Transport vom Bahnhof bis zum Einbau im Gebirgstale ein Bruch von 6 v. H. festgestellt. Unter solchen Umständen besitzt Schmiedeeisen einen offensichtlichen und wohl nicht umstrittenen Vorzug in seiner größeren Zähigkeit, die auch gegenüber der oft unsichern Lage in nach-

giebigem Grunde oder auf Felsen, wo das Rohr bisweilen auf den Einzelstützen der Felszacken liegt, in Betracht kommt. Dieser Umstand hat neuerdings beim Verlegen von Rohren in den Straßen der Städte, deren Untergrund infolge wiederholter Aufgrabungen ungleiche Lagerungsverhältnisse bietet, vermehrte Berücksichtigung gefunden. Man gibt hier, um die Bruchgefahr zu verringern, gern den schmiedeeisernen oder Mannesmannrohren den Vorzug, wie man z. B. vielfach in und bei Berlin beobachten kann. Das wesentlich geringere Gewicht, wie auch die größere Baulänge der schmiedeeisernen Rohre, die die Nachteile der vielen Stöße der kurzen Gußrohre vermindert, darf dabei ebenfalls nicht außer Acht gelassen werden. Für weite Transporte — im besonderen bei Förderung über See — spricht das geringere Gewicht der schmiedeeisernen Rohre gegenüber dem gußeiserner Rohre mit. Andererseits wird darauf hingewiesen, daß die schmiedeeisernen Muffen »federn« sollen, und daß sich bei wechselnden Drucken die Bleidichtung lockert.

Die Kostenfrage hinsichtlich beider Eisenarten läßt sich allgemein endgültig nicht wohl beantworten. Im Durchschnitt hat sich bei vielen Ermittlungen erwiesen, daß bei kleinen Lichtweiten das Gußeisen billiger wird, bei großen das Schmiedeeisen, weil im letzteren Falle infolge der dünneren Wandungen das kleinere Eisengewicht der schmiedeeisernen Rohre zu seinen Gunsten wirkt. Besonders kommt dieser Umstand gegenüber den starkwandigen gußeisernen Rohren bei hohen Drucken über 10 Atm. in Betracht. Hier geben dann auch die Förderkosten bei entlegener Baustelle einen wesentlichen Ausschlag. Die Preisgrenze liegt etwa bei 500 bis 600 mm Lichtweite. Darunter sind gußeiserne, darüber schmiedeeiserne Rohre billiger.

In Amerika bevorzugt man Schmiederohre bzw. Stahlrohre für hohe Pressungen, für niedrige Drucke Gußeisen, dem man wegen seiner starken Wandungen — wohl aus den oben erörterten Gründen — eine lange Dauer zuschreibt[1]). Es haben sich dort Schmiedeeisenrohre bei hohen Beanspruchungen betriebssicherer erwiesen. Aber das gilt auch hier nicht allgemein. So hat man z. B. bei der Colgate-Anlage in Westamerika bis zu einem Wanddruck von 22 kg/qcm, also 220 m Gefällhöhe, Gußeisen angewandt. Die Amerikaner brauchen bei großen Rohrweiten mit Vorliebe genietete Rohre (Abb. 84), jedoch kommen neuerdings

1) S. u. a. Eng. Rec. v. 7. 4. 06.

auch geschweißte Rohre in Aufnahme, indem man auch dort erkennt, daß die Schweißnaht einen höheren Festigkeitsgrad als die Nietnaht hat. Deswegen ist es z. B. in Kalifornien üblich, in dem oberen Teile der Linienführung, wo die Pressungen gering sind, genietete Rohre zu verlegen, geschweißte Rohre dagegen in der unteren stärker beanspruchten Strecke. Eine derartige Teilung ist z. B. zur Anwendung gekommen bei The San Joaquin Electric Company's Rohrleitung, die 1200 m lang ist und 420 m Gefälle und 50 bis 62 cm Durchmesser hat. Die Rohre sind mittels Flanschen verbunden. Bemerkenswert ist die

Abb. 84[1]). Rohrstrang von 5,5 m l. W. aus 12 mm st. Stahlblechen für das Kraftwerk der Ontario-Kraftgesellschaft an den Niagarafällen.
Das Rohr wurde pneumatisch genietet, ist mit Verstärkungsrippen versehen und ganz in Beton gebettet (s. S. 144).

445 km lange, i. J. 1903 vollendete Leitung der Standard Oil Company, welche von dem Bakersfield und Coalinga Ölgebiet Öl nach Point Richmond an der San Francisco Bay leitet. Die Rohrweite beträgt 20 cm, der Betriebsdruck bis zu 40 kg/qcm. Es ist Hartstahl zur Anwendung gelangt[2]). In Tirol bieten die Kaiserwerke ein Beispiel für diese Konstruktionsweise. Die Rohrleitung von 320 m Gefälle bei 550 mm l. W. hat im oberen Teile genietete, im unteren Teile geschweißte Rohre von

1) Nach Z. d. V. d. Ing. 1905.
2) Journal of the Association of Engineering Societies. Sept. 1904.

10 bis 15 mm Blechstärke. Die Abdichtung ist durch Gummiringe zwischen Stahlgußflanschen erfolgt[1]).

In Norwegen werden ebenfalls viel schmiedeeiserne, genietete Rohre verwandt im Durchmesser bis zu 5 m und mehr. Auch anderwärts verschließt man sich neuerdings der Verwendung von schmiedeeisernen Rohren nicht mehr. München baut 22 km Rohre von dieser Eisenart ein[2]). Wien hat für seine neue Hochquellenwasserleitung, in der Drucke von 12 Atm. vorkommen, bei einem Objekt von etwa 200 Mill. sich für Schmiedeeisen entschieden. Die Kanalisationswerke von Berlin verwen-

Abb. 85. Hydraulische Nietung eines Knierohrstückes.

den neuerdings ebenfalls mehrfach Schweißeisen für ihre großen Druckrohrstrecken.

Die Nietung der schmiedeeisernen Rohre erfolgt heute vielfach durch hydraulische Kraft (Abb. 85).

Man wird aus allem folgern können, daß bei Wasserkraftanlagen mit hohem Druck — 10 Atm. und mehr — die Entscheidung zwischen Gußeisen und Schmiedeeisen nicht so sehr durch die Rostfrage beherrscht wird, als durch die Forderung der Betriebssicherheit. Und es ist nach den obigen Ausführungen wohl nicht umstritten, daß bei so hohen Drucken Schmiedeeisen größere Betriebssicherheit bietet, besonders bei

1) Schweiz. Elektrot. Zeitschr. Sept. u. Okt. 1906.
2) Gesundheits-Ing. 1905 S. 113.

Turbinenbetrieb, wo man trotz aller Vorsichtsmaßregeln — Entlastungsschächte oder Entlastungsventile — mit der Möglichkeit erhöhter Beanspruchungen rechnen muß, wenn plötzliche Abstellungen der Rohrleitung an den Turbinen eintreten. Dem Rosten des Eisens muß durch einen sachgemäß aufgebrachten Anstrich nach Möglichkeit entgegengetreten werden.

Überdies bedeutet die Rostgefahr nur eine Frage der Lebensdauer — also den Ersatz der Rohrleitung durch eine neue nach einer gewissen Reihe von Jahren. Bedeutsamer als diese kann im gegebenen Falle bei Wasserkraftanlagen mit hohem Gefälle die Notwendigkeit oder der Wunsch sein, einen unbedingt sicheren Betrieb zu schaffen. Jenes ist eine Kostenfrage, dieses gleichsam eine Existenzfrage des Werkes.

Es sei noch bemerkt, daß man in Amerika vielfach Versuche gemacht hat mit hölzernen Druckleitungen, die aus Dauben zusammengearbeitet werden, nach der Art, wie man Fässer herstellt. Die Standard Electric Company besitzt z. B. eine solche 850 m lange, 1,20 m weite hölzerne Druckleitung für Wasserkraftzwecke. Die Bishop's Creck Kraftanlage benutzt auf 3000 m Länge hölzerne Rohrleitungen von 75 bis 100 cm Durchmesser. Die hölzernen Leitungen werden hier gebraucht für eine statische Druckhöhe bis 80 m, von dieser Druckhöhe bis zur gesamten Gefällhöhe von 320 m werden Stahlrohre verwandt[1]). Es ließen sich viele Beispiele herzählen, wo Holz in Amerika besonders in abgelegenen Gebirgstälern für Rohrleitungen verwandt worden ist. Aber man kommt neuerdings davon ab, nachdem man erkannt hat, daß die Unterhaltung und oftmalige Erneuerung des Holzbaues, dessen Dauer zu 15 bis 20 Jahren angegeben wird, mit der Zeit kostspieliger wird, als ein dauerhaftes Material[2]).

Man stellt in Amerika und Frankreich Druckrohre öfters auch in Eisenbeton her. Solche Rohre werden, nachdem das Eisennetz an Ort und Stelle in die Rohrlinie eingebaut ist, mit inneren und äußeren Holzformen umschlossen, in die der Beton eingestampft wird, so daß das Netz der Eisenteile ganz in Beton eingebettet liegt. Für die genaue Lage des Eisens lassen sich die statischen Druckverhältnisse in den Wandungen eines solchen Hohlkörpers sehr wohl berücksichtigen[3]).

1) Eng. Rec. 30. 6. 06.

2) Eng. Record. 1905 II S. 263. Proceed. of American Soc. of Civ. Eng. Sept. 1906, Dezemb. 1906 u. Jan. 1907.

3) Eng. Record. 1905 I S. 190.

Bei der schon oben[1]) erwähnten Kraftanlage von Champ hat die Rohrleitung einen Durchmesser von 3,30 m und 4600 m Gesamtlänge. Die Wassergeschwindigkeit beträgt ein wenig mehr als 2 m/sek. Die oberen 2100 m des Druckrohres sind in Eisenbeton, die unteren 2500 m in Stahlblech ausgeführt. Das Eisenbetonrohr (Abb. 86) ist einem inneren Druck bis 20 m ausgesetzt. Das Rundeisennetz ist aus Stäben von 6 bis 12 mm Durchmesser hergestellt, die parallel zur Rohrachse liegen, und aus Stäben von 11 bis 22 mm Durchmesser, die im Querschnitt angeordnet sind. Die Betonstärke beträgt 20 bis 25 cm. Das Rohr ruht auf einer Betonunterlage von 30 cm Dicke und ist im unteren Teil

Abb. 86. Eisenbetonrohr von 3,3 m Durchmesser für die Druckleitung der Kraftanlage von Champ (Isère) im Bau. Innendruck bis 2 Atm.

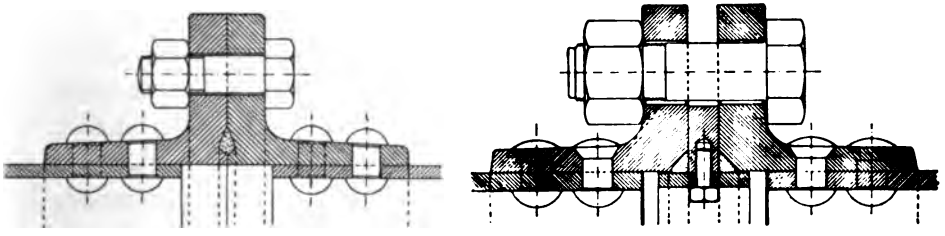
mit Erde umschüttet. Die Stärke des Stahlbleches ist 7 bis 10 mm (Abb. 81 u. 82). Ein weiteres Beispiel aus Frankreich bietet das Kraftwerk Entraygues bei Toulon, das eine 500 m lange Eisenbetonleitung von 2,90 m Durchmesser für 15 m Innendruck besitzt[2]).

Über die Berechnung von Eisenbetonrohren s. Zeitschr. Beton u. Eisen 1906 S. 218. Mitteil. über eine große Eisenbetonrohrleitung in Spanien für Bewässerungszwecke (2 Rohre von 3,80 m Durchm. bei 26 m Innendruck) s. Beton u. Eisen 1907 S. 27.

Für die Verbindung der Rohre ist selbst bei hohen Gefällhöhen

1. S. 178.
2. Le Génie Civil. Febr. 1906.

die Muffendichtung viel üblich (Abb. 70). Sie hat den Vorzug großer Einfachheit in der Herstellung und einer gewissen Nachgiebigkeit bei etwaigen Senkungen und Erschütterungen. Der Spielraum in den Muffen gestattet es, mit den geraden, 4 m langen Stücken sich mit kleinen Halbmessern bei etwa 50 cm Lichtweite bis zu 75 m, bei etwa 120 cm Lichtweite bis zu 125 m herab sowohl im wagerechten wie im senkrechten Sinne den Gestaltungen des Geländes anzupassen, so daß sog. Kurvenstücke meist entbehrlich sind. Für kleinere Halbmesser braucht man entsprechende Krümmerformstücke. Flanschenverbindung mit Gummiringeinlage (Abb. 87a u. b) bietet bei hohem Innendruck größere Betriebssicherheit; aber man nimmt von ihrer Verwendung im allgemeinen Abstand, weil die Flanschenrohre höher im Preise stehen als die Muffenrohre und weil die Flanschenverbindung zu wenig Anpassungsfähigkeit an das



a. Flanschendichtung im Rohrstrang. b. Flanschendichtung in der Bogenbrücke.

Abb. 87a u. b. Flanschendichtung der zweiten Druckrohrleitung für das Elektrizitätswerk Kubel bei St. Gallen[1]).

Gelände besitzt und unnachgiebig bei Erdbewegungen ist. Man fertigt zwar die Flanschen in beliebigen Winkeln, immerhin ist dadurch doch nicht jene Freiheit der Bewegung geschaffen, wie sie die Arbeit des Verlegens erwünscht macht. Wohl aber finden die Flanschenrohre in Innenräumen Verwendung, sowie in Stollen und bei genieteten Rohren, wo man auf eine peinlich genaue Lage der Rohre auf entsprechenden Fundamentunterlagen Bedacht zu nehmen für nötig hält.

Rohrleitungen bis zu 10 Atm. Innendruck werden in der üblichen Weise mit Hanfstricken, Bleiverguß und Bleiverstemmung gedichtet. Die Muffe wird gewöhnlich der Strömungsrichtung zugekehrt verlegt, damit Stöße des strömenden Wassers gegen das Schwanzende vermieden werden und eine Lockerung der Dichtung möglichst ausgeschlossen ist.

1) Abb. 87 bis 90 nach Schweiz. Bzt. Bd. XLIII u. XLVIII.

Bei allen starken Gefällen — etwa von 10 v. H. an — wird aber die Muffe nach oben verlegt, selbst wenn dabei das Schwanzende gegen die Strömung liegt. Bei umgekehrtem Verfahren ist eine dauernde Abdichtung erfahrungsmäßig kaum möglich. Das Blei läßt sich dabei nicht sicher in die Muffen eingießen und verstemmen[1]).

Neuerdings ist statt des Bleigusses eine Art Bleiwolle empfohlen worden, die in kaltem Zustande verstemmt wird. Diese Abdichtung mag bei Verlegungsarbeiten in nasser Baugrube ihre Vorteile haben und die Arbeit erleichtern. In Bögen wird das Verstemmen der Bleiwolle an der eingeengten Seite der Muffe schwierig, und für hohen Druck scheint sie

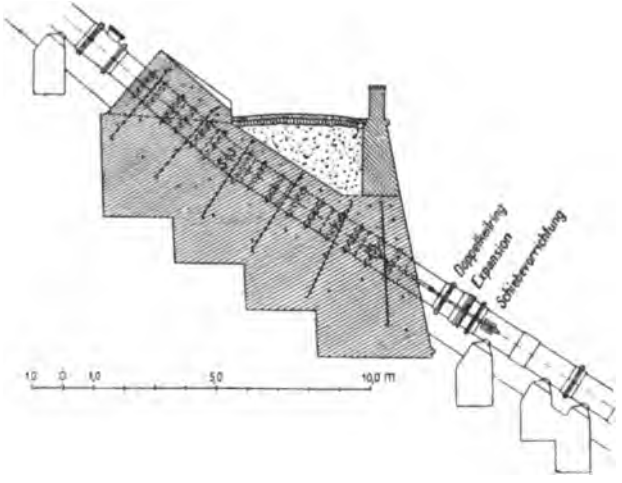


Abb. 88. Sicherung eines Knickpunktes der Druckrohrleitung für das Elektrizitätswerk Luzern-Engelberg durch Einbetonierung (Schnitt in der Achse der Druckleitung).

Die Massen des Knickpunktes wurden berechnet aus der Seitenkraft des Wasserdruckes im Winkelpunkt, der Gewichtskomponente des oberhalb liegenden Leitungsstückes und dem Gegendruck dieses Stückes bei der Temperaturausdehnung. Die Betonmasse beträgt 500 cbm für 2 Rohre von 1,0 m Durchmesser.

nicht wohl geeignet zu sein. Bei Gefällen über 100 m tut man gut, besondere Sicherungen für die Bleiabdichtung zu treffen. Man erweitert dann die Muffen nach innen, so daß der Bleiversatz einen keilförmigen Querschnitt erhält, und versieht die Muffe mit Rillen zum festeren Anhaften des Bleies. Dabei wird die Bleidichtung durch den Innendruck fester eingedrückt. Allein auch diese Anordnung hat — wie der Betrieb

1) Gesundh. Ing. 1906, S. 536 u. 552.

erwiesen — nicht immer genügt, um bei Gefällen von 170 bis 200 m ein Hinaustreiben des auch im kalten Zustande immerhin nachgiebigen Bleies zu verhindern. Jedenfalls empfiehlt es sich, die Keilform recht stark auszubilden. Um noch weitere Sicherheit zu haben, bringt man ringförmige Schellen zu beiden Seiten der Muffe an, die mit Schrauben zusammengehalten werden und ein Austreten des Bleies verhindern. Man hat in der Schweiz bis zu 600 m Gefällhöhe damit gute Erfahrungen gemacht[1]). Hinsichtlich dieser Einzelheiten sei auf die unten beschriebene Hochdruckleitung von der Talsperre zur Stadt Nordhausen verwiesen.

Bei Abweichungen aus der axialen Lage oder beim Erklimmen steiler Hänge ist es gut, die Rohre durch Steinbettung, Unter- bzw. Einmauerung, Einbetonierung oder Verankerungen an den Muffen in ihrer Lage zu sichern (Abb. 88). Freiliegende Rohre werden auf gemauerte oder betonierte Sockel gelagert (Abb. 89).

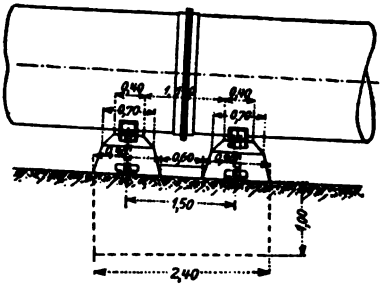


Abb. 89. Auflagerung der zweiten Druckrohrleitung für das Elektrizitätswerk Kubel bei St. Gallen.

Es empfiehlt sich, alle Konstruktionsteile der Druckleitungen vor dem Einbau einem Probedruck zu unterwerfen, der etwa auf das $1\frac{1}{2}$fache des ruhenden Betriebsdruckes zu bemessen ist. Hierbei muß sich vollkommene Dichtigkeit zeigen. Die gleiche Probe ist nach der Montage zu wiederholen.

Bei den amerikanischen Ingenieuren stehen Bleidichtungen nicht in der Gunst. Zwar verkennt man nicht den Vorzug ihrer Billigkeit und ihrer leichten Abdichtung bei Leckwerden, immerhin hält man nicht für geraten, damit Druckhöhen von 200 bis 220 m zu übersteigen. Für höhere Pressungen werden genietete oder Flanschenverbindungen vorgezogen, wobei die Flanschen

1) Über Hochdruckleitungen vergleiche man: Z. d. V. d. Ing. 1905 S. 1653. — Verhandl. d. Ver. zur Beförd. des Gewerbefleißes v. 4. 1. 1904. — Über die Streitfrage: Gußrohr, schmiedeeisernes oder Mannesmannrohr s. Z. d. österr. Ing.- und Arch.-Ver. 1903 S. 680. Journal f. Gasbeleuchtung u. Wasserversorgung. 1897 S. 792. 1903 S. 948. 1904 S. 399, 517 und 1040. 1906 S. 851 und 953. — Schwarz, Welches Rohr verwende ich? u. a. m. Über Rohrverbindungen: Zeitschr. »Stahl und Eisen« 1906 S. 135, Journal of the association of Engineering societies. Sept. 1904, u. Z. d. V. deutsch. Ing. 1905 S. 1256. Journ. f. Gasbel. u. Wasservers. 1906 S. 1113. Litten, Das geschweißte Schmiedeeisenrohr. Über elastische Muffendichtungen mit Gummieinlagen s. Journ. f. Gasbel. u. Wasservers. 1907 S. 349.

als Lappen den Rohren aufgenietet sind. Aufgeschweißte Flanschen werden als eine ideale Verbindung für hohe Pressungen bezeichnet.

Bei Rohrleitungen, die in der Erde eingebettet sind, werden Ausdehnungsvorrichtungen in der Regel nicht angeordnet. Für die geringen Längenänderungen bieten die Krümmungen und die Flach- und Tiefpunkte der Linienführungen die Möglichkeit genügenden Spielraums. Bei langen freiliegenden Rohrstrecken dagegen ordnet man federnde Ausgleiche oder Ausdehnungseinrichtungen nach Art von Stopfbüchsen (Druckleitung des Jungfraubahnkraftwerkes bei Lauterbrunn) an (Abb. 90). Ebenso sind bei der Druckleitung des Elektrizitätswerkes Kubel (Schweiz) gußeiserne Stopfbüchsen mit Hanfdichtung vorgesehen[1]). S. auch Abb. 80.

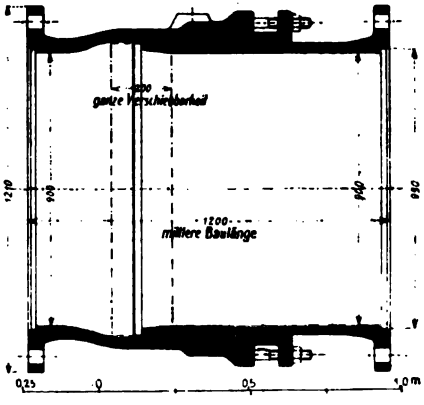


Abb. 90. Ausdehnungsmuffe an der Druckleitung für das Elektrizitätswerk Luzern-Engelberg.
Verschiebbarkeit 200 mm.

Die 250 m lange, in Erde gebettete Rohrleitung von 1500 mm Durchmesser der Pölswerke (Steiermark) hat 3 Ausdehnungsvorrichtungen erhalten[2]).

Ausrüstungen und Sicherungen an Druckleitungen.

Die an Druckrohrleitungen und Stollen von größerer Längenausdehnung notwendigen Einrichtungen zur Verhütung von Leerlaufen, unzulässigen Drucksteigerungen und Geschwindigkeitsänderungen werden selbsttätig wirkend gemacht. Ventile zu ersterem Zweck werden angebracht unmittelbar an der Abzweigung der Rohrleitung vom Sammelbecken oder einem sonstigen Behälter, bei langen Leitungen wohl auch in gewissen Zwischenstrecken in der Rohrleitung selbst (Abb. 91). Der Rohrschluß tritt ein, sobald bei einem Rohrbruch ein gewisses Maß an Geschwindigkeit überschritten ist, infolge der vermehrten Stoßwirkung des Wassers. In Verbindung hiermit und oberhalb des selbsttätigen Abschlusses empfiehlt es sich, ein Sicherheitsventil einzubauen, das den

1) E. T. Z. 1904 Heft 8 u. 9.
2) Z. d. österr. Ing. u. Arch. Ver. 1907 S. 307.

entstehenden Rückschlag entlastet. Solche Ventile, welche sich bei zu starkem Druck selbsttätig öffnen, kann man auch auf den Bergkuppen anordnen, wenn zu fürchten ist, daß hier bei zu großer Wassergeschwindigkeit ein Vakuum entsteht und dieses bei plötzlichem Abschluß aufgehoben wird, so daß ein starker Wasserschlag erfolgt.

Außerdem werden in langen Rohrleitungen wohl auch Vorrichtungen angeordnet, die den Zweck der Regulierung der Geschwindigkeit haben. Diese kann dann ein gewisses Maß nicht überschreiten, um eben jene Störung des ruhigen Wasserlaufs in der Leitung nicht gewaltsam auftreten zu lassen.

Vielfach kommt hierbei Druckwasserbetrieb zur Bewegung der Schieber zur Anwendung, da man in diesen Leitungen über hohen Druck an sich verfügt. Für Abschlußschieber, die vom Kraftwerke weit entfernt liegen, ist mit Vorteil elektrische Fernbewegung verwandt worden. Ebenso wird elektrische Fernmeldung, um in dem Kraftwerk den Wasserstand an Wehrüberläufen, in den Staubecken und Hochbehältern anzuzeigen, neuerdings viel verwertet und ist geeignet, den gesamten Betrieb zu zentralisieren, wodurch er übersichtlich und sicher gestaltet wird.

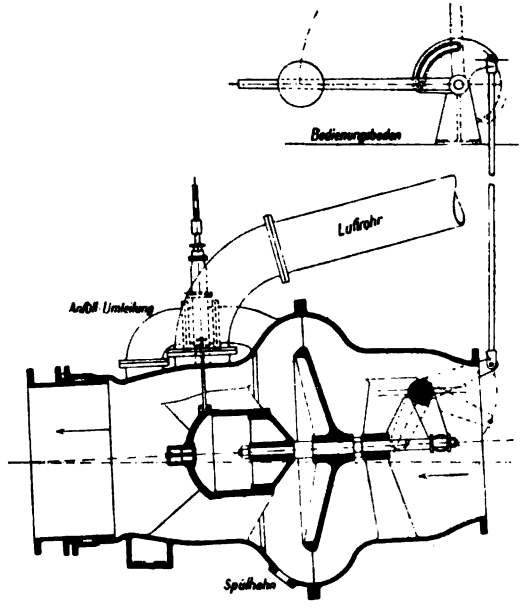


Abb. 91. Selbsttätiger Rohrabschluß in der Druckleitung des Elektrizitätswerkes Luzern-Engelberg.

Tellerventil mit hydraulischer Bremse zum Hemmen des Stoßes beim Schließen und mit Stellwerk und Gegengewicht so einstellbar, daß der Schluß beim Überschreiten einer bestimmten Wassergeschwindigkeit erfolgt.

Zum Abschluß der Rohrleitungen am Kraftwerk dienen gewöhnliche Spindelschieber oder auch Drosselklappen (Luzern-Engelberg. S. B. 1906 II S. 31). Die Abbildungen 92 bis 97 zeigen eine Reihe neuzeit-

licher Schieberabschlüsse für Hochdruckleitungen mit Handbetrieb, hydraulischem oder elektrischem Antrieb.

Tritt im Krafthause eine rasche Verminderung der Turbinenleistung ein, so können die bei Absperrung der Rohrleitung auftretenden Schwingungen der Wassersäule gefährliche Drucksteigerungen hervorrufen, die

Abb. 92[1]). Schieber von 2000 mm l.W. mit Spindeln mit außenliegenden Gewinden für niedere Gefälle. Antrieb von Hand oder mit Elektromotor.

Abb. 93. Absperrschieber für Arbeitsdrücke bis 10 Atmosphären mit doppeltem Antrieb für 2 bzw. 4 Mann.

Gehäuse aus Gußeisen, Spindeln und Dichtungsringe aus Bronze.

am unteren Ende der Leitung am stärksten zur Entfaltung kommen. Sollen die dabei auftretenden Spannungen durch das Rohr selbst aufgenommen werden, so sind übermäßig verteuernde Verstärkungen der Rohrwandungen erforderlich. Um diese zu vermeiden, werden bei längeren Druckrohrleitungen in der Nähe des Krafthauses besondere Sicherheitsvorrichtungen getroffen. Als solche sind zu nennen:

1) Die Abb. 92 bis 95 und 97 sind nach Konstruktionen des Eisenwerkes Clus (Kt. Solothurn) dargestellt.

1. Windkessel,
2. Standrohre,
3. Sicherheitsventile mit Gewichts- oder Federbelastung,
4. Selbsttätig wirkende Druckregulatoren, die einen Leerlaufschieber öffnen oder abschließen, je nach dem Drucke in der Leitung.

Abb. 94. Hydraulisch bewegter Absperrschieber von 800 mm l. W. für 56 Atm. Probedruck. Der Schieber ist mit 2 Umleitungen zur Entlastung ausgestattet. Der hydraulische Antrieb ist stark genug, um im Notfalle auch ohne Entlastung den Schieber betätigen zu können. Das Steuerhandrad sowie die Handräder der Umleitungen können vom Fußboden aus bedient werden.

Abb. 95. Absperrschieber von 600 mm l. W. für 130 Atm. Probedruck und 75 Atm. Betriebsdruck mit Umleitung. Hauptschieber wie Umleitungsschieber mit hydraulischem Antrieb, entlasteten Steuerventilen und Schlammhähnen. Steuerapparate sind oben am Betriebsmotorzylinder des Hauptschiebers angebracht. Gehäuse des Schiebers aus Stahlguß, Kolbenstange aus Stahl mit Messingrohrüberzug, Dichtungsringe aus Bronze. Die Kolben haben Lederdichtungen.

In den Windkesseln soll die Energie des in Bewegung befindlichen Wassers durch Kompression der Luft eine Ausgleichung finden. Diese Vorrichtung hat sich jedoch nicht bewährt. Unter hohem Druck saugt das Wasser die darüberstehende Luft auf und ein stetes Nachfüllen von Luft, das für das Betriebspersonal sehr lästig ist, ist notwendig. Man hat die Windkessel deswegen

oft außer Betrieb gesetzt, und sie finden heute im allgemeinen keine Anwendung mehr. Man hält sie für den Regulatorenbetrieb sogar für schädlich.

Die Standrohre werden so angeordnet, daß sie mit der Wasserspiegelhöhe des Staubehälters, aus dem die Rohrleitung hergeleitet ist, abschließen oder darüber hinausragen. Im ersteren Falle fließen sie bei jeder Schwankung über, im letzteren Falle verzehrt sich die lebendige Kraft des Wassers in der Hebung der Wassersäule des Standrohres. Dadurch entstehen in jedem Falle Schwingungen der Wassersäule und Spannungen im unteren Teile der Rohrleitung, die dem Gewicht der Wassersäule entsprechen. Eine vollständige Entlastung der Rohrleitung schaffen also die Standrohre nicht.

Abb. 96. Schieber von 600 mm l.W. für elektrischen Antrieb. Geprüft auf 31,0 Atm. Druck. Gehäuse aus Gußstahl. Amerikanische Konstruktion[1]) für das Kraftwerk der Puget Sound Kraftgesellschaft am Puyallup-Fluß.

Einige Beispiele seien hier angeführt. Bei der Rohrleitung des Elektrizitätswerkes an der Sihl (Schweiz) hat man zur Aufhebung dieser schädlichen Stoßwirkungen beim plötzlichen Schluß der Turbinen etwa 157 m oberhalb des Kraftwerkes einen senkrechten Luftschacht in Form eines 2,20 m weiten offenen Eisenrohres angelegt. Die Druckleitung hat 1,4 m Durchmesser und entwickelt Wassergeschwindigkeiten bis zu 2 m. Die Oberkante des Luftschachtes liegt 6 m höher als der Spiegel des Kraftwasser spendenden Weihers[2]). Zu gleichem Zwecke ist am Elektrizitätswerke der Stadt Davos oberhalb der Abzweigungen im Turbinenhause auf das Druckrohr ein Windkessel von 12 m Höhe aufgesetzt. Das Rohr hat 2000 m Länge bei 700 mm Durchmesser und 100 m Gefälle.

1) The Pelton Water Wheel Gesellschaft.
2) Holz, Über Wasserkraftverhältnisse in Skandinavien und im Alpengebiet.

Der 3 km lange, 6,5 qm weite Druckstollen an der Urfttalsperre hat an seinem unteren Ende ebenfalls einen Schacht, in dem beim plötzlichen Abstellen der Hochdruckturbine die lebendige Kraft der im Stollen fließenden Wassermenge sich durch Ansteigen vernichten kann. Zur größeren Sicherheit ist dieser Schacht mit einem frei ablaufenden Überlauf versehen (Abb. 68). Ähnliche Einrichtungen zum Ausgleich der Druckschwankungen besitzt die Kraftanlage vom Champ (s. S. 178). An dieser Rohrleitung sind zur Vermeidung von Wasserschlägen vier Stand-

Abb. 97. Drosselklappe von 2100 mm l. W. für $1^1/_2$ Atm. Druck mit hydraulischem Antrieb. Durch ein in die Zuleitung zum Betriebsmotor eingeschaltetes, elektrisch betätigtes Ventil läßt sich die Drosselklappe für elektrische Fernsteuerung (vom Maschinenhause usw.) einrichten.

rohre von 3, 6, 20 und 35 m Höhe angebracht, in denen das Wasser hochsteigen und seine lebendige Kraft vernichten kann bei plötzlichen Abstellungen der Leitung (Abb.) 98. Das unterste, am Kraftwerk belegene Standrohr (Abb. 99) hat am Fuß 3,3 m und an der Spitze 1,4 m Durchmesser. Oben ist ein Behälter aus Stahl von 3 m Durchmesser und 2 m Höhe, von dem aus drei Überlaufrohre von 0,6 m abgehen, die in das Unterwasser Abfluß haben. Außerdem sind einige Entlastungsventile vorgesehen, um die Druckschwankungen in der Rohrleitung zu

vermindern. Das Kraftwerk besitzt eine Leistungsfähigkeit von 7000 PS. (Rohkraft) [1]).

Die Sicherheitsventile werden mit der Gewichts- oder Federbelastung so bemessen, daß ein Öffnen eintritt, wenn der Druck an der Rohrleitung um 10 bis 15 v. H. gestiegen ist. Diese Ventile sind konstruktiv in den verschiedensten Anordnungen vorhanden, und es ist ihre Herstellung ein Sondergebiet einzelner Maschinenfabriken. Siehe die

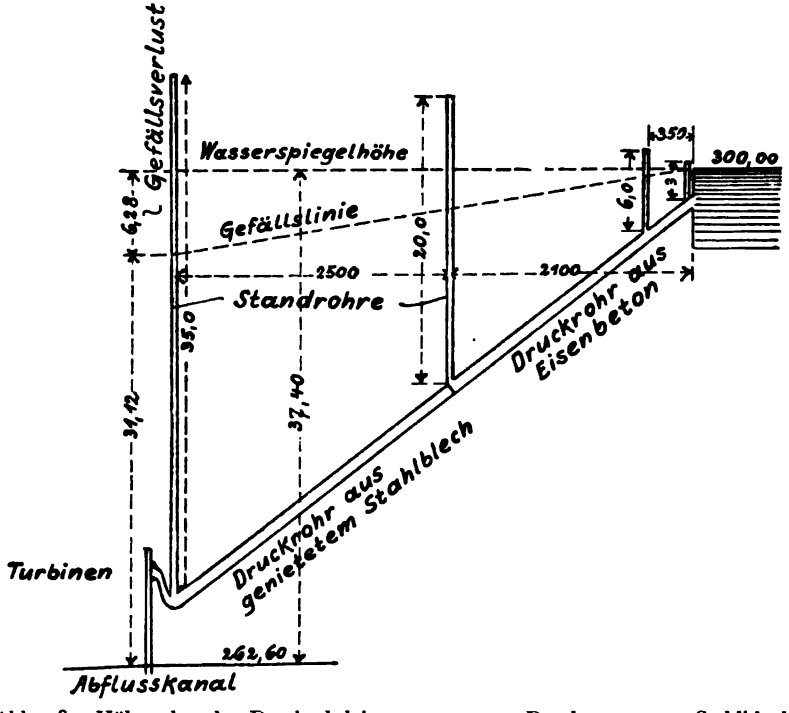


Abb. 98. Höhenplan der Druckrohrleitung von 3,3 m Durchmesser aus Stahlblech und Eisenbeton für das Kraftwerk von Champ (Isère).

nachfolgende Beschreibung der Hochdruckleitung von der Talsperre zur Stadt Nordhausen a. H.

Die Druckerhöhungen können bei einem Schluß, der sich in wenigen Sekunden vollzieht, bis zu 50 v. H. des hydrostatischen Druckes der Rohrleitung betragen. Dieses kann durch Regulatoren verhindert werden, die bewirken, daß der Abschlußschieber eine langsame Be-

1) De La Brosse, Installations Hydro-Électriques u. Eng. Rec. Dez. 1905.

wegung macht und eine allmähliche Absperrung in 0,5 bis 1 Minute herbeiführt. Solche Strahlablenkungsregulatoren bestehen aus zwei Reguliereinrichtungen. Die eine veranlaßt eine Strahlablenkung derart, daß bei plötzlichem Abschluß der Turbinen in 1 bis 2 Sekunden die Wasserentnahme aus der Rohrleitung sich nur langsam verringert. Diesen langsamen Abschluß vollzieht ein zweiter Regulator, so daß unnötige Wasserverluste möglichst vermieden werden[1]). Als eine bemerkenswerte

Nach Eng. Rec. 1905.

Abb. 99. Kraftwerk zu Champ (Isère) mit 35 m hohem Standrohr zum Ausgleich der Druckschwankungen in der Rohrleitung.

Einrichtung ist hier noch die an der Druckleitung der Kraftanlage Luzern-Engelberg bei rd. 300 m Gefälle angeordnete Brechplattenvorrichtung zu erwähnen. Vom Schlußstück der Verteilungsleitungen der Druckleitung (Durchmesser 900 mm) nach den Turbinen gehen hier 2 Leitungen von 200 mm Durchmesser ab. Die eine davon dient als Leerlauf, in die andere ist die Brechplattenvorrichtung eingebaut. Es

1) Näheres: Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1905 S. 417 und Wagenbach, Turbinenanlagen.

ist das eine gehäuseartige Erweiterung mit abschraubbarem Handlochdeckel, die gegen den Ablaufkanal durch eine in der Mitte auf 12 cm Durchmesser und auf ein bestimmtes Maß abgedrehte Gußplatte geschlossen ist. Die Dicke dieser Platte wurde durch Versuche so bestimmt, daß sie bei einem Drucke von 42 Atm. berstet. (Hydrost. Druck rd. 300 m.) Das Erneuern einer geborstenen Platte kann in kurzer Zeit erfolgen[1]). Die Reguliervorrichtungen an den Turbinen dieses Kraftwerkes wirken in dem Maße, daß bei plötzlichem Abstellen von 2000 bis 2500 PS. = $^1/_3$ der Gesamtstärke des Werkes eine Steigerung des Wasserdruckes bei den Versuchen von im Maximum 7,8 v. H. eintrat. Nach einigen Sekunden schon stellte sich Gleichgewicht ein. Die Geschwindigkeit des fließenden Wassers stieg um etwa 3 v. H. Dabei war die Schlußzeit des automatischen Geschwindigkeits-Regulators auf 2 bis $2^1/_2$ Sekunden bemessen, so daß in dieser kurzen Zeit 2500 PS., d. h. die Vollast einer Turbine, ohne wesentliche Störung des normalen Zustandes der Wassersäule und der Geschwindigkeit ausgeschaltet werden kann[2]).

Bei Anlage der Pölswerke (Steiermark, Betriebswassermenge 4 cbm/sek., Gefälle 28 m) war bei Genehmigung die behördliche Forderung gestellt, daß dem dem Flußlaufe entnommenen Wasser bei eingestelltem oder vermindertem Betriebe der Turbinen stets ein ungehinderter Abfluß gewährt wird, um die oberliegenden Wasserkraftwerke nicht durch Rückstau, die unterliegenden nicht durch Absperrung des Wassers zu schädigen. Es war zuerst geplant, diese Bedingung durch Anlage eines Überfalles im Betriebskanal, etwa 650 m oberhalb des Wasserschlosses zu erfüllen. Bei plötzlichem Abfluß der Rohrleitung wäre jedoch dieser Überfall — durch den eintretenden Rückstau — zu langsam in Wirksamkeit getreten, um die Benachteiligung der Unterlieger zu vermeiden. Die behördliche Forderung wurde darum durch maschinelle Einrichtungen im Krafthause erfüllt. Es ist dies geschehen durch die Anordnung von Ablaßschiebern, die aus der Hauptrohrleitung unmittelbar hinter dem Zufluß zu der Turbine seitlich Wasser ausströmen lassen. Das Gestänge jedes dieser Schieber ist mit dem der Turbinenregulierung verstellbar verbunden. Die Schieber wirken gleichzeitig auch als Druckregulatoren, um bei plötzlichem Rohrabschluß unzulässige Druck-

1) Schweiz. Bauz. 1906.
2) Schweiz. Bauz. 1906 4. Aug.

schwankungen in der Rohrleitung zu vermeiden. Es ergeben sich im Betriebe damit keine größeren Druckschwankungen als etwa 1,9 m Wassersäule[1]).

Mit dem hier behandelten Gegenstande, die Wasserzuführung in den Rohrleitungen nach Möglichkeit vor Betriebsstörungen zu sichern, steht im engen Zusammenhange die Frage, ob die Ausführung in einer oder mehreren Druckleitungen erfolgen soll, so daß sich bei einem Rohrbruche die Leitungen gegenseitig ergänzen können. Die Entscheidung hierüber wird nicht allgemein getroffen werden können. Zweifellos bietet eine doppelte Leitung eine große Betriebssicherheit. Aber dem kann man entgegen halten, daß auch mit einem Druckrohre sich der Betrieb, wie die Erfahrung erweist, ohne Störung hat durchführen lassen, nachdem die in der ersten Zeit nach Fertigstellung der Druckleitung wohl auftretenden Undichtigkeiten, Rohrbrüche usw. — Erscheinungen, die als unvermeidliche anzusehen sind — beseitigt wurden. Von Werken, die schon seit Jahren mit nur einer Leitung arbeiten, seien erwähnt: die Sillwerke bei Innsbruck, das Kraftwerk zum Betrieb der Jungfraubahn bei Lauterbrunn, die Elektrizitätswerke der Städte Solingen und Nordhausen u. a. m. Man wird bedenken müssen, daß eine zweite Leitung die Gesamtbaukosten, besonders bei langer Ausdehnung, sehr bedeutend erhöht, und die Rentabilität des Unternehmens beim ersten Ausbau in Frage stellen kann. Bei Werken, deren bauliche Entwicklung dem wachsenden Kraftbedarf angepaßt werden soll, wird man sich zunächst unbedenklich mit einer Druckleitung begnügen können, sofern nicht etwa in Hinsicht auf die Menge des Betriebswassers ein Strang zu übergroßen Abmeßungen führt, aber es wird dabei in Erwägung zu nehmen sein, bei Erweiterungen des Werkes, für die spätere Auswechslung der ersten Leitung oder aus anderen Gründen den Bau einer zweiten Wasserzuführung vorzusehen, d. h. einen etwaigen Tunnel darnach einzurichten oder sonst den erforderlichen Platz vorzubehalten.

Es wird im Anschluß an die vorstehenden Ausführungen nicht ohne Interesse sein, die Einrichtungen kennen zu lernen an einer Druckrohrleitung für Kraftzwecke, die bei ihrem hohen Innendruck und der eigenartigen Linienführung besondere Vorsichtsmaßnahmen erheischte.

Hochdruckleitung des Talsperrenkraftwerkes der Stadt Nordhausen am Harz. Die Druckleitung von der Talsperre der Stadt Nordhausen, die in den Aus-

1) Weiteres über die maschinelle Einrichtung s. Zeitschr. d. österreich. Ing.- u. Arch.-Vereins 1907 S. 309.

läufern des Südharzes gelegen ist, zum Kraftwerk, nahe bei der Stadt, verläuft in der in Abb. 100 und 101 dargestellten Weise mit vielen Höhen- und Tiefpunkten. Die lichte Weite

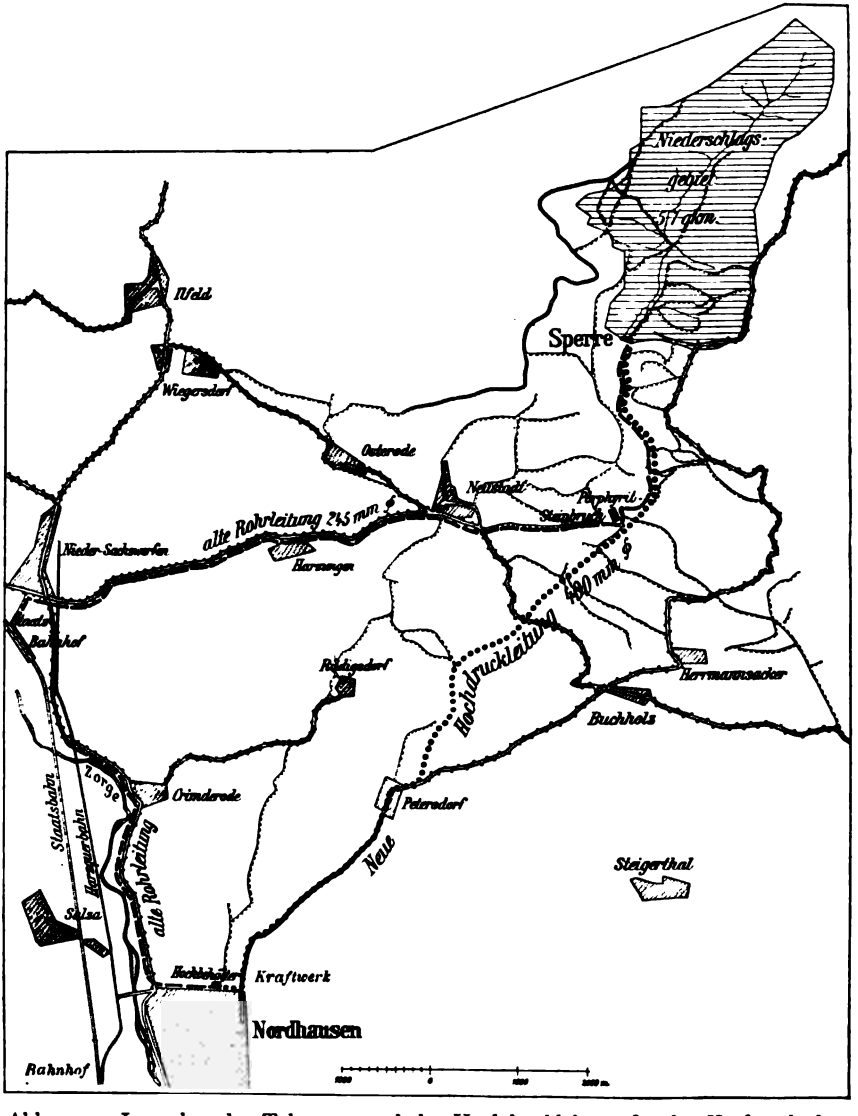


Abb. 100. Lageplan der Talsperre und der Hochdruckleitung für das Kraftwerk der Stadt Nordhausen a/H.

des Rohres beträgt 400 mm, die Längenausdehnung der Leitung ist fast 11 km, der höchste ruhende Druck bei gefülltem Staubecken rd. 192 m. Die Wasserführung ist in normalem

Betriebe 50 l in der Sekunde, kann aber bis 100 l/sek. steigen. Dabei ergeben sich Wassergeschwindigkeiten von 0,4 bzw. 0,8 m/sek. und Reibungsverluste für die ganze Rohrlänge von 5,0 bzw. 19,8 m. Vom mittleren Wasserspiegel der Talsperre bis zur Turbine steht abzüglich der Reibungsverluste bei 50 l/sek. Entnahme ein nutzbares Gefälle von

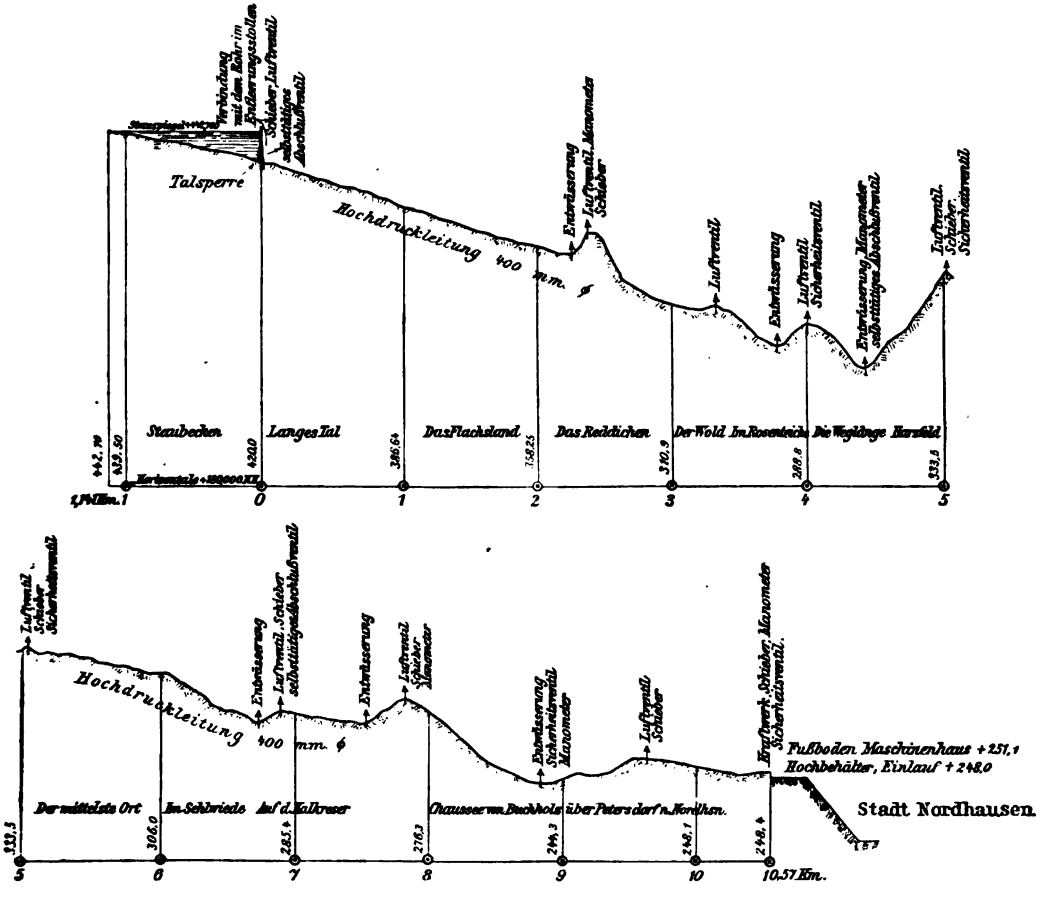


Abb. 101. Höhenplan der Hochdruckleitung von der Talsperre zum Kraftwerk der Stadt Nordhausen a/Harz.

Länge der Druckleitung ~ . . = 11 km.
Lichte Weite . . . . . = 400 mm.
Höchstes ruhendes Gefälle . . = 192 m.

178 m zur Verfügung. Anfänglich bestanden Bedenken gegen die Ausführung dieser Rohrlinie mit Rücksicht auf die Betriebssicherheit des Kraft- und Elektrizitätsbetriebes, die sich auf die im vorigen Abschnitt erörterten Gründe stützten. Der Wasserinhalt der gefüllten 11 km langen Leitung ist r. 1380 cbm. Wenn sich das Wasser bei der Höchst-

entnahme von 100 l/sek. mit 0,8 m Geschwindigkeit bewegt, so hat die bewegte Wassermenge ein Arbeitsvermögen von $1380 \cdot 1000 \cdot \frac{0{,}8^2}{19{,}62} = 45\,000$ mkg. — Wird eine solche Wassermenge durch plötzlichen Abschluß der Rohrleitung an den Turbinen in ihrem Laufe gehemmt, so müssen Innendrücke entstehen, die bei dem hohen Gefälle und den wellenförmigen Geländeverhältnissen dem Bestand der Leitung gefährlich werden können. Es ergeben sich für schnellen Rohrabschluß — rechnerisch, ohne Berücksichtigung der Elastizität der Wandungen und des Wassers — etwa folgende Druckerhöhungen:

Schlußzeit:	Druckerhöhungen:
10 Sekunden	90 m
30 »	30 »
60 »	15 bis 20 m
120 »	7,5 » 10 »

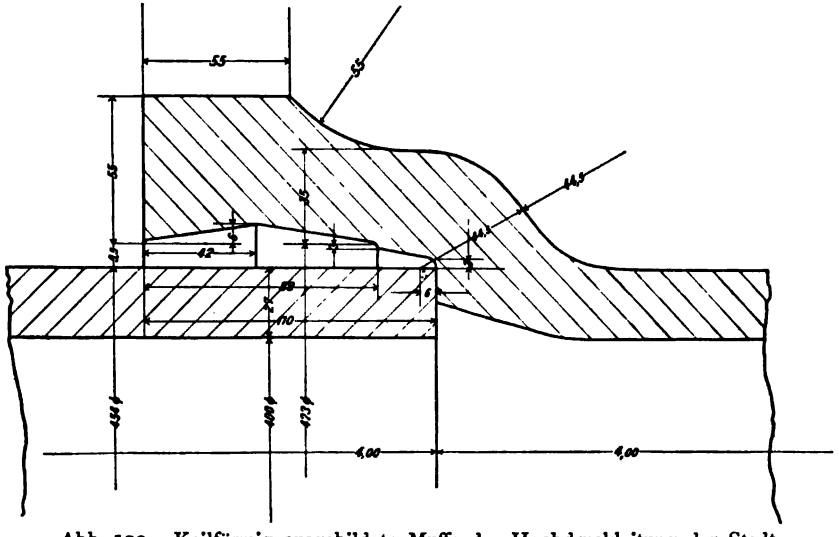


Abb. 102. Keilförmig ausgebildete Muffe der Hochdruckleitung der Stadt Nordhausen a/H.

Um die Druckerhöhungen nach Möglichkeit auszuschalten, wurde zunächst ein ununterbrochener 24stündiger Kraftbetrieb in Aussicht genommen, dadurch wurde das wiederholte Anlassen und Abstellen der langen gefüllten Rohrleitung vermieden, wie es bei 10- oder 12stündigem Betrieb nötig gewesen wäre. Das Rohr arbeitet gewöhnlich mit einer gleichmäßigen, beliebig abstellbaren Wassergeschwindigkeit. Der Ausgleich zwischen dem verschiedenen Wasserbedarf der Kraftbetriebe und der Trinkwasserversorgung (s. Absch. IV u. V H) sollte in dem unmittelbar unterhalb des Kraftwerkes belegenen Hochbehälter von 4000 cbm Fassungsraum erfolgen, der für diesen Zweck ausreichte, da der Trinkwasserbedarf der Stadt etwa 4000 bis 5000 cbm am Tage beträgt. Für den Fall, daß während der Nachtzeit eine Kraftabnahme nicht geschieht, sollte elektrische Akkumulierung des Stromes stattfinden. Aber es schien nötig, noch weitergehende Maßnahmen sorgfältig durchzuarbeiten und auszuführen, um bei eintretenden Betriebsstörungen und plötzlich

notwendig werdendem Rohrabschluß den Bestand der Leitung zu sichern, zumal ein Kraftwerk mit so eigenartigen Verhältnissen der Linienführung der Druckleitung bisher noch nicht ausgeführt war und Erfahrungen darum noch nicht vorlagen.

Diese Sicherungen betrafen sowohl die Druckrohrleitung als die Regulierung der Turbine.

a) Die Rohrleitung. Der höchste ruhende Innendruck der Leitung beträgt, wie bemerkt, 192 m. Die Konstruktionseinrichtungen an der Reguliervorrichtung der Turbine wurden für eine Schlußzeit von 120 Sekunden getroffen. Demnach ergibt sich der höchstmögliche Innendruck im Betrieb zu 202 m.

Die Sicherheitsmaßnahmen an der Hochdruckleitung umfassen einmal die Rohrleitung selbst und dann ihre Ausrüstung.

Entsprechend dem wachsenden Innendrucke hat die in Gußeisen hergestellte Rohrleitung verstärkte Wandungen erhalten.

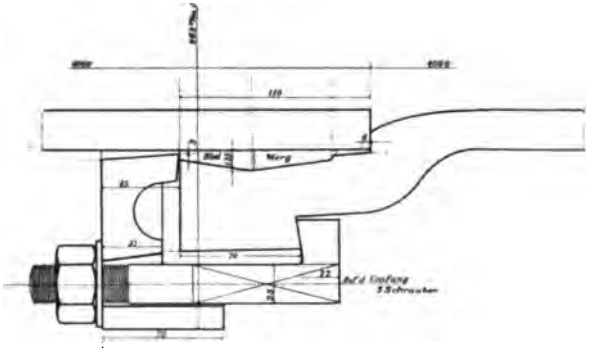


Abb. 103. Anordnung von Schellen zur Sicherung der keilförmigen Bleiabdichtung an der Hochdruckleitung der Stadt Nordhausen a/Harz.

Es sind vorhanden:

Rohre m	Innendruck (Ruhezustand) at	Wandstärke mm	
2400	10	normal	Die Rohre wurden geprobt auf einen Innendruck von 10 Atm. mehr als Betriebsdruck.
1250	12	16,5	
1320	14	18,0	
2860	16	19,5	
440	18	21,5	Die Rohre besitzen bei 1200 kg Zugfestigkeit des Gußeisens eine durchschnittlich 8fache Sicherheit.
2300	20	23,0	
10570			

Zur Verbindung der Rohre dienen Muffen. In dem oberen Teile der Rohrstrecke mit geringem Innendruck bis 10 Atm. sind normale Rohre eingebaut. In dem Abschnitt von 10 bis 14 Atm. sind keilförmige Muffen angeordnet (s. Abb. 102). Bei mehr als 14 Atm. sind, um eine größere Sicherheit gegen das Heraustreiben des Bleies zu erhalten, neben der Verwendung von keilförmigen Muffen Schellen um die Rohre gelegt (s. Abb. 103).

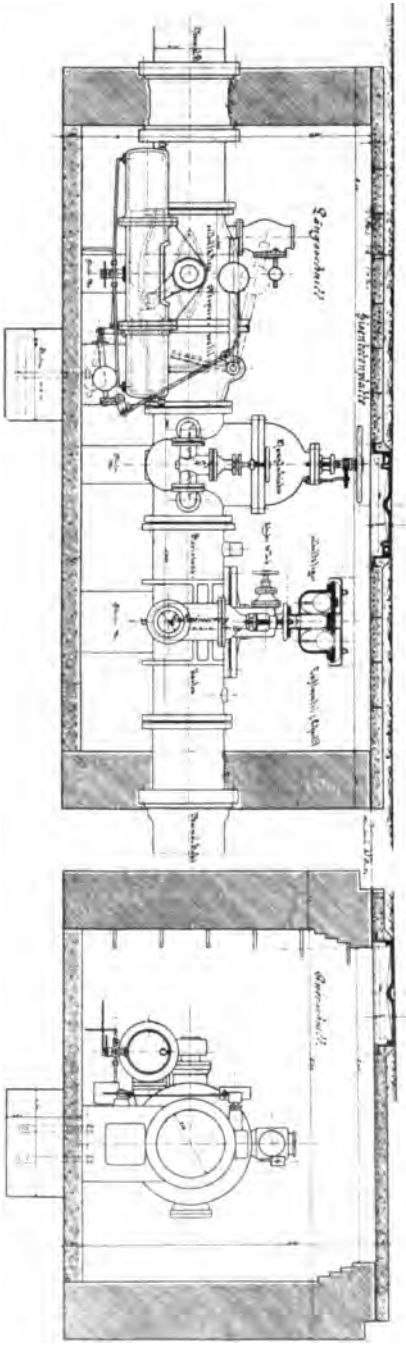


Abb. 104. Schacht mit selbsttätigem Absperrventil, Hauptschieber mit Umleitung, selbsttätigem Luftventil und Revisionskasten an der Hochdruckleitung der Stadt Nordhausen a/Harz.

In den schärferen Krümmungen sind außerdem Verankerungen der Rohrleitung erfolgt, um ein Heraustreiben der Rohrstücke zu verhindern. Von einer besonderen Umhüllung der Leitung mit Beton oder Mauerwerk ist bis auf einige wenige Stellen Abstand genommen.

Unmittelbar unterhalb der Talsperre und auf der ganzen Länge der Rohrleitung verteilt sind im ganzen 3 selbsttätige Rohrabschlußventile, für den entsprechenden Druck bemessen, eingelegt, die bei Rohrbruch sich infolge der lebhaften Strömung schließen und ein Ausströmen aus dem Becken bzw. ein Leerlaufen der Rohrleitung und somit neben den Wasserverlusten Flurschäden verhindern sollen (Abb. 104 und 105). In Verbindung mit diesen Vorrichtungen sind auf der Strecke Sicherheitsventile für einen Druck bis 20 Atm. angeordnet, die sich bei einer Drucksteigerung von etwa 10 m über den hydrostatischen Druck an der betreffenden Stelle öffnen und die Rohrleitung entlasten (Abb. 106). Ein weiteres Sicherheitsventil befindet sich am Kraftwerk unmittelbar oberhalb der Turbine.

An 5 Punkten — in der Nähe des Kraftwerkes und auf der Strecke verteilt — ist die Rohrleitung mit Manometern ausgerüstet. Sie dienen zur Kontrolle des Druckes in der Rohrleitung, um erkennen zu können, ob eine Überschreitung der zulässigen Spannung in der Leitung, d. h. des hydrostatischen Druckes zuzüglich der durch den Schließvorgang an der Turbine eintretenden vorübergehenden Drucksteigerung im Betriebe eingetreten ist.

In den Tiefpunkten der Linie

sind Entwässerungs- bzw. Entleerungsschieber, in den Höhenpunkten selbsttätige Entlüftungsschieber für einen Druck von 10 bzw. 20 Atm. angeordnet. Außerdem sind in entsprechenden Abständen Absperrschieber eingebaut, um einzelne Teile der Leitung abschließen zu können. Diese Schieber sind für die leichtere Beweglichkeit mit einem Umlauf versehen, wodurch der Hauptschieber von dem Gesamtdruck entlastet werden kann. Die Leitung hat Horizontalkrümmungen von 30 bis 200 m Halbmesser, die schärferen Bögen sind gebildet aus besonderen Krümmerformstücken von 1,236 m Länge und geraden 4 m langen Stücken, die miteinander abwechseln. Bei mehr als 75 m Halbmesser

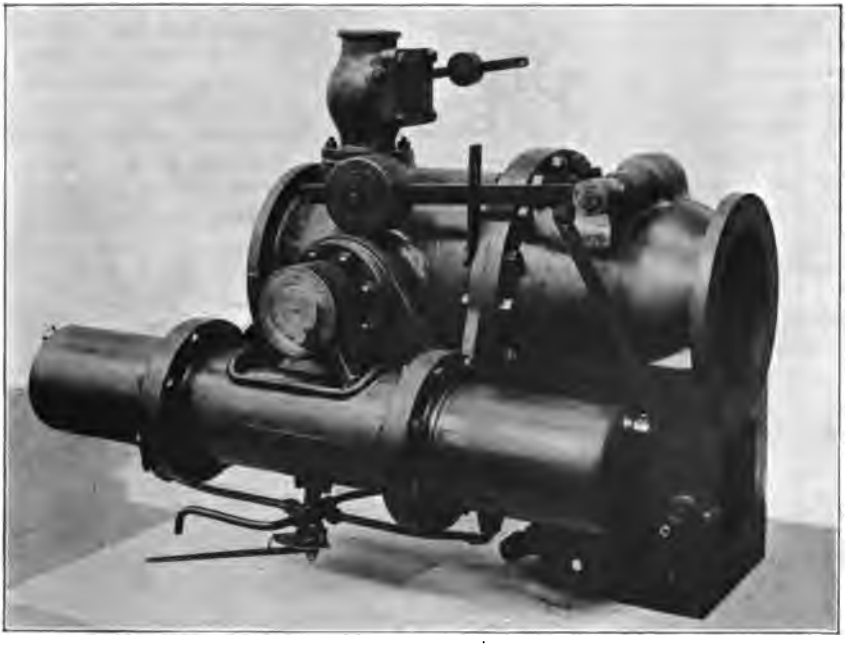


Abb. 105. Selbsttätiger Hochdruckrohrabschluß (Drosselklappe) mit Lufteinlaßklappe und Stellwerk an der Hochdruckleitung der Stadt Nordhausen a/Harz.
Das Druckwasser für den Betriebsmotor wird aus der Hauptleitung entnommen. Das Ventil wird auf mechanischem Wege durch Gewichtshebel geöffnet. (Eisenwerk Clus).

waren keine Krümmer nötig, ebenso erforderten die Höhenbögen keine Krümmer, weil sie sehr flach sind.

b) Sicherungen an der Turbine. Wenn die vorstehend beschriebene Sicherheitsausrüstung die Rohrleitung vor Bruch schützen soll, falls unzulässige Druckschwankungen entstehen, so sind zur weiteren Sicherung am Kraftwerke Einrichtungen getroffen, welche ein gewisses Maß der Drucksteigerung überhaupt verhindern sollen. Diese konstruktiven Einrichtungen mittels Strahlablenkung an der Regulierung der Turbine wurden, wie schon oben bemerkt, für eine Schlußzeit des Rohres von 120 Sekunden, also, wie die Tabelle angibt, für eine Drucksteigerung von 10 m getroffen. Der zu erwartende höchste Betriebsinnendruck sollte, wie oben ausgeführt, 202 m betragen. Dabei können Steige-

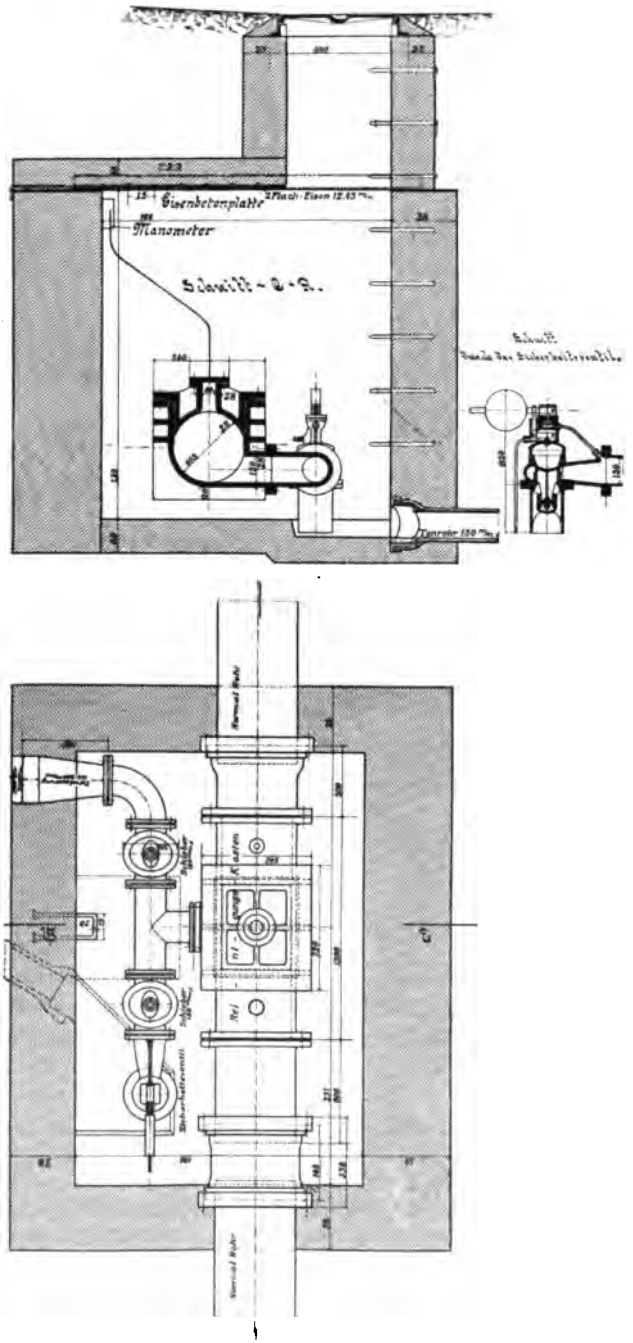


Abb. 106. Schacht mit Sicherheitsventil, Manometer, Reinigungskasten und Entwässerungseinrichtung an der Hochdruckleitung der Stadt Nordhausen a/Harz.

rungen in der Leistung der Turbine um 40 PS., von 130 bis 170 PS. in wenigen Sekunden eintreten [1]).

c) Verlegen der Rohrleitung. Das Auftreten verschiedener Bodenarten — Fels, Gips, Lehmboden, wasserhaltiger Untergrund in den Tiefen der Täler usw. erforderte Vorsicht, um eine gesicherte Rohrlage zu erzielen. Auf eine sorgfältige Unterbettung wurde Gewicht gelegt. Streckenweise mußte der Rohrgraben in Felsen ausgesprengt und hier für eine möglichst gleichmäßige Auflagerung mit feinem Schüttmaterial ausgefüllt werden. Wo das Rohr in Gips lag, wurde es zum Schutz gegen schädliche Einwirkungen auf das Eisen mit Lehm umhüllt. Die geringste Überdeckung im Rohrscheitel beträgt 1,25 m, doch wurden größere Einschnitte bis 4 m Tiefe nicht gescheut, um eine nach Möglichkeit gestreckte Rohrlinie zu erhalten. Die Rohre wurden mit Hanfseil und Bleiverguß und Nachstemmen in der üblichen Weise abgedichtet. Dann wurde in den stärker beanspruchten Rohrstrecken der Sicherungsring, der vorher schon auf das Rohrende geschoben war, mit Schraubenbolzen festgemacht. Die Richtung der Muffen war bergauf. Bei diesem Verfahren lassen sich die Muffen sicher aneinanderschieben und verstemmen. Man fängt dabei im Tiefpunkt mit einem Überschieber an. Auf der Kippe kommt man dann mit 2 Muffen gegeneinander und es wird hier ein glattes Rohrstück ohne Muffen eingeschaltet.

Einige weitere Mitteilungen über bemerkenswerte neuzeitliche Hochdruckleitungen mögen folgen.

Druckleitung der Sillwerke bei Innsbruck. Es waren zwei Leitungen von je 1250 mm Durchmesser in Aussicht genommen, für die sich, je nach der Betriebsart, folgende Wassermengen, mittlere Geschwindigkeiten und Widerstandshöhen ergeben:

Turbine im Betriebe	Wassermenge l/sek.	Mittlere Geschwindigkeit m/sek.	Widerstandshöhe m
1	1285	1,05	0,70
2	2570	2,10	1,75
3	3855	3,14	3,60

Die Rohrleitung (Abb. 80) verläuft in einer senkrechten Ebene; im Längsprofil zeigt sie eine einzige Richtungsänderung. Die einzelnen Rohre sind 6 m lang und mit Flanschen verbunden; sie bestehen aus Flußeisenblech von 3600 bis 4200 kg/qcm Bruchbelastung und 20 v. H. Dehnung. Die Blechstärke wächst stufenweise von 8 mm auf 21 mm; sie ist für die verschiedenen Abschnitte auf Grund einer Beanspruchung von rd. 800 kg/qcm ermittelt, wobei für Abnutzung 1 bis $1^1/_2$ mm zugegeben sind.

Je nach der Druckhöhe weisen die Längsnähte 1- bis 3fache, die Rundnähte 1- bis 2fache Überlappungsnietung auf. Die schmiedeeisernen Flanschen sind, wie Abb. 80 zeigt, mit Kautschukringen abgedichtet. Die Rohre liegen auf glatten Betonsockeln.

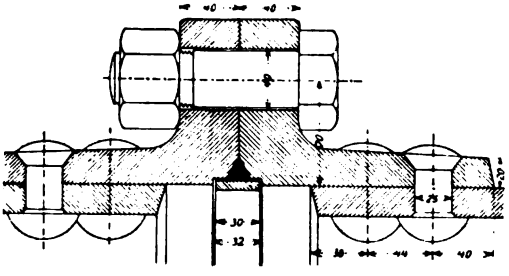
Vor der Verteilleitung ist eine Drosselklappe mit Umleitrohr und Entlastungsventil eingeschaltet. Die Verteilleitung hat doppelte Laschennietung; die Längsrohre sowie die aus Stahlguß hergestellten Anschlußstutzen zu den Maschinen sind ebenfalls durch Flanschen miteinander verbunden. An der tiefsten Stelle der Leitung befindet sich ein Entleerungsschieber von 250 mm Durchmesser.

Die Druckprobe erfolgte, indem 3 bis 5 zusammengeschraubte Rohre dem $1^1/_2$fachen

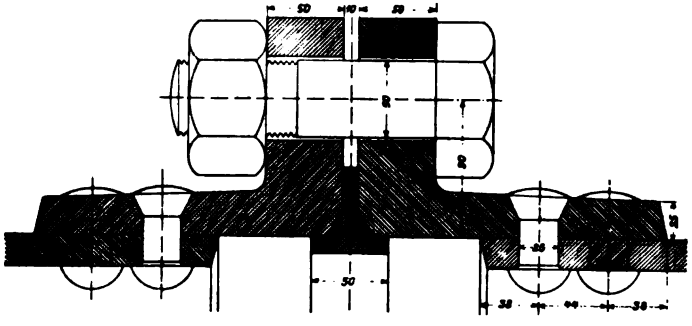
1) Näheres hierüber s. A. Pfarr, Die Turbinen für Wasserkraftbetrieb S. 744.

des größten örtlich auftretenden Wasserdruckes ausgesetzt wurden. Nach der Dichtigkeitsprobe an Ort und Stelle, wobei die Flansche und Nähte der mit Wasser gefüllten Leitung keinerlei Spur von Undichtigkeit erkennen ließen, wurde die ganze Leitung angestrichen und zugeschüttet. Einzelne in geeigneter Weise längs der Rohrstrecke angeordnete Einsteigschächte gestatten, jederzeit zu prüfen, ob die Leitung dicht ist[1]).

Die Druckleitung des Elektrizitätswerkes Luzern-Engelberg. Ein wichtiges Glied dieser bemerkenswerten Anlage bildet die Druckleitung. Im Längenprofil



a. Abdichtung mittels Kautschukring und Flacheisenring (im oberen Teile der Druckleitung).



b. Abdichtung mittels ⊥-Eisenring und Kautschukschnüren (im unteren Teile der Druckleitung).

Abb. 107a u. b. Flanschendichtung der Hochdruckleitung des Elektrizitätswerkes Luzern-Engelberg.

Beide Abdichtungen ermöglichen eine Rohrverbindung, bei der die Dichtungseinlage nicht von den zur Achse parallel gerichteten Kräften beansprucht wird.

wurden möglichst lange Geraden eingelegt. Man scheute sich nicht, zu diesem Zwecke an der steilen Lehne Einschnitte von über 4 m Tiefe zu machen und an anderen Stellen die Leitungen fast 3 m über Gelände auf gemauerte Pfeiler zu legen.

Vorläufig sind zwei Druckleitungen ausgeführt. Diese haben entsprechend dem Gefälle und der Stärke der an sie angeschlossenen zwei Turbinen je eine maximale Wasser-

1) Nach Zeitschr. d. V. d. Ing. 1905.

menge von 1,33 cbm/sek. zu liefern. Als innerer Durchmesser wurde in dem oberen Teile 1,00 m gewählt, so daß die Geschwindigkeit des Wassers in der Druckleitung im Maximum 1,75 m beträgt. Abwärts wurde der Durchmesser auf 90 cm verringert, was einer größten Geschwindigkeit von 2,15 m/sek. entspricht. Es geschah dies deshalb, um mit der Wandstärke bei genieteten Blechröhren unter 25 mm bleiben zu können, weil über dieser Grenze die zulässige Beanspruchung des Materials abnimmt.

Für die Berechnung der Wandstärken und Nietung wurde die Leitung in 11 Druckzonen eingeteilt, welche Röhren von gleicher Stärke erhielten. Die Abmessungen sind so berechnet, daß beim höchsten Wasserstand im Wasserschloß und bei ruhender Wassersäule die Zugsbeanspruchungen der schwächsten Stellen nicht mehr als $^1/_5$ der Zugfestigkeit des Materials betragen. Für die Rohre, die unter einem Drucke von 31,5 bis 24,9 Atmosphären stehen, wurde Blech mit einer Zerreißfestigkeit von 34 bis 40 kg/qmm und einer Dehnung von 25 v. H. verwendet, für die oberen Teile bis zum Wasserschloß wurden die Rohre aus Mantelblech mit einer Zerreißfestigkeit von 36 bis 42 kg/qmm und einer Dehnung von 22 v. H. hergestellt.

Die normale Rohrlänge beträgt 8 m. Die Verbindung ist durch Flanschen erfolgt (Abb. 107a u. b); die Ausdehnungsrohre (Abb. 90) haben Bronzefutter; sie besitzen eine Bewegungsfreiheit von rund 20 cm.

Jedes Rohr liegt an seinen beiden Enden auf je einem Gleitsattel aus gepreßtem Γ-Eisen (N. P. Nr. 22), der durch Mauerpfeilerchen gestützt wird[1]).

Die Druckleitungen des Elektrizitätswerkes Kubel. Eine ältere Rohrleitung von 1600 mm Lichtweite und 293 m abgewickelter Länge führt den Turbinen das Aufschlagwasser aus dem Sammelweiher zu (Abb. 108).

Als Bestandteile der Rohrleitung sind zu nennen: die Drosselklappe, welche unmittelbar vor der Staumauer als zweite Abschlußvorrichtung der Rohrleitung zu wirken hat, sowie eine Leerlaufleitung von 750 mm Lichtweite, die vor der Drosselklappe eingesetzt ist und eine Entleerung des Weihers gestattet. Die Drosselklappe war früher nur für eine Bedienung von Hand eingerichtet, im Laufe des letzten Jahres ist aber noch eine Einrichtung getroffen worden, die gestattet, sie auf elektrischem Wege auch vom Maschinenhaus aus zu öffnen und zu schließen.

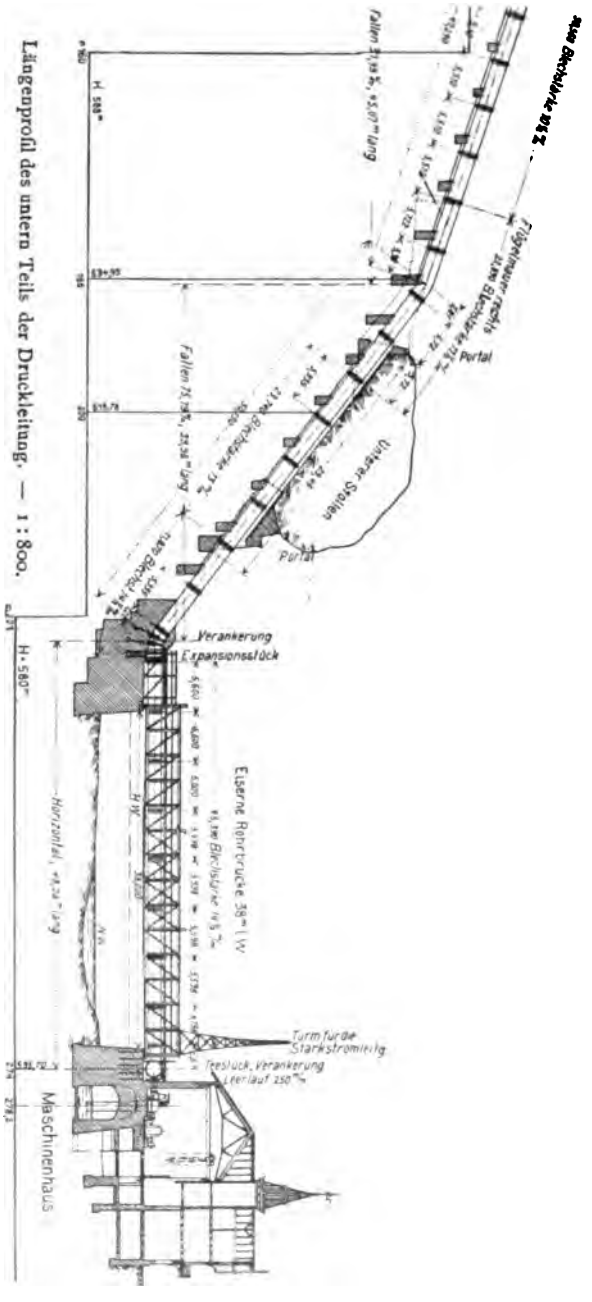
Die Ausdehnungsvorrichtungen, die zwar bei gefüllter, in Betrieb stehender Rohrleitung infolge der geringen Länge der letzteren keine große Rolle spielen, sind als einfache gußeiserne Stopfbüchsen mit Hanfdichtung durchgeführt. Die eine befindet sich in der oberen, beinahe wagerechten Strecke, die andere unten vor der Rohrbrücke. Auf der nur 125 m langen Zwischenstrecke sind keine Ausdehnungsvorrichtungen vorhanden, da sich die Leitung in den vorhandenen zwei Bogen heben und senken kann. Die Längenänderung der vollen Leitung, die, als sie fertig montiert, etwa drei Monate lang leer dalag, auf einer Strecke von rund 100 m etwa 30 bis 35 mm betrug, ist eine verschwindend kleine, da der größte Temperaturunterschied höchstens 14 bis 15° C. betragen kann.

Die Rohrleitung führt in gerader Linie über die Felsen der Sitterschlucht zum Maschinenhaus. Sie ist oberirdisch geführt und nirgends zugedeckt. Das größte Gefälle beträgt 75,8 v. H., die größte Druckhöhe 87,5 m.

Da das Maschinenhaus wegen Platzmangel am rechten Ufer der Sitter errichtet werden mußte, war man genötigt, die große Druckleitung mittels einer Rohrbrücke von 38 m Spannweite über den Fluß zu führen.

Die Leitung ist in Rohrlängen von 5,5 bis 7,5 m aus bestem Dillinger Flußeisenblech

1) Nach Schweiz. Bauz. 1906.



Längenprofil des untern Teils der Druckleitung. — 1 : 800.

Abb. 108. Die alte Hochdruckleitung des Elektrizitätswerkes Kubel bei St. Gallen (Schweiz).

Lichtweite 1600 m.
Länge 293 m.
Größte Druckhöhe 87,5 m.

mit von oben nach unten von $5^1/_5$ bis 15 mm zunehmender Wandstärke, doppelter Längsnietung und einfacher Quernietung hergestellt. Die Flanschen sind aus Schweißeisen, zur Dichtung wurden Gummiringe verwendet [1]).

Die ungeahnte und unmöglich vorauszusehende Entwicklung des Werkes ließ schon nach vierjährigem Betrieb erkennen, daß die Leistungsfähigkeit dieser vorstehend be-

Abb. 109. Übersicht der beiden Druckleitungen des Elektrizitätswerkes Kubel bei St. Gallen mit der Talsperre im Hintergrunde.

schriebenen Leitung bald an ihrer Grenze angelangt sein werde, wollte man nicht die Wassergeschwindigkeit, die bei der Maximalbelastung der letzten Jahre schon über $2^1/_2$ m in der Sekunde betrug, auf eine gefahrdrohende Weise steigern. Man schritt deswegen zum Einbau einer zweiten Druckrohrleitung (Abb. 109).

1) Schweiz. Bauz. Bd. XLIII.

Die genieteten, in Längen von 7500 mm angelieferten Rohre dieser Druckleitung haben gleich wie bei der alten Leitung einen inneren Durchmesser von 1600 mm. Als Material

Abb. 110. Die Hochdruckleitung vom Wasserschloß zum Kraftgebäude des Elektrizitätswerkes der Papierfabrik Albbruck (Schwarzwald).

wurde Siemens Martin-Flußeisen-Kesselblech mit 36 bis 42 kg/qmm Festigkeit bei 22 v. H. minimaler Dehnung vorgeschrieben, die Stärke des Bleches wechselt von 7 bis 12 mm.

Längs- und Quernähte sind doppelreihig genietet, für die Flanschen wurden nahtlos

gewalzte, sehr kräftige Winkeleisen von annähernd gleicher Güte wie das Blech verwendet. Die Rohrwandstärken sind unter Annahme einer mindestens vierfachen Sicherheit berechnet worden, Flanschen und Schrauben, sowie Verteilung und Anzahl der letzteren wurden so bemessen, daß auch bei doppeltem Arbeitsdruck noch eine vierfache Sicherheit vorhanden ist.

Die Dichtung der Flanschen geschah gemäß Abb. 87 a. u. b.

Der Lagerung der Leitung ist eine ganz besondere Sorgfalt geschenkt worden (siehe Abb. 89). Jedes Rohr ruht auf 2 Stützpunkten, die je 0,75 m vom Stoß entfernt sind und das Rohrgewicht vermittels U-förmiger Tragsättel aus Gußeisen auf die Betonsockel übertragen. Die Rohre liegen auf den Tragsätteln frei und ohne jede Verankerung auf, so daß der Ausdehnung bei Temperaturänderungen nur wenig Reibungswiderstand entgegengesetzt wird.

Das Eigengewicht der Rohrleitung beträgt rund 750 kg für 1 lfd. m [1]).

Die Druckleitung des Elektrizitätswerkes Albbruck (Abb. 78, 110u. 111). Die Druckleitung hat einen lichten Durchmesser von 1,30 m und besteht aus genieteten Röhren von Schweißeisenblech und schmiedeeisernen Flanschenringen zum Zusammenschrauben der Stöße. Zur Abdichtung sind 5 mm dicke Bleiringe verwendet worden. Die Blechstärken nehmen abwärts mit wachsendem Wasserdrucke zu. Diese Druckleitung hat im ganzen eine Länge von 70 m, während die Fallhöhe 48,3 m beträgt. Sie ruht frei auf gußeisernen Sätteln, die wieder auf zwei durchgehenden I-Eisen (Normalprofil Nr. 20) befestigt sind. Diese Lagerschienen sind mit Ankerbolzen in einer Bettung aus Bruchsteinmauerwerk mit hydraulischem Mörtel verankert. Die Druckleitung ist mit einer Ausdehnungsvorrichtung versehen.

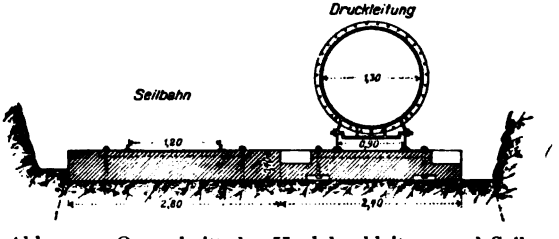


Abb. 111. Querschnitt der Hochdruckleitung und Seilbahn des Elektrizitätswerkes Albbruck.

Der maximalen Betriebswassermenge von 2250 l in der Sekunde entspricht eine Geschwindigkeit von 1,70 m in der Rohrleitung und ein Gefälls- oder Druckverlust von 1,9 v. T. der Länge der Leitung oder = 0,14 m im ganzen.

Unmittelbar neben der Rohrleitung mit der gleichen Neigung wie diese ist auf ebenfalls gemauerter Bettung eine Seilbahn mit 1,20 m Spurweite angebracht. Diese Seilbahn hat dazu gedient und dient dazu, sowohl die Rohre der Druckleitung, als auch sämtliche Maschinenbestandteile für Turbinen und Generatoren auf den Platz vor dem Turbinenhause hinunter zu schaffen [2]).

Gefällgewinnung an natürlichen Seen.

Für die Nutzbarmachung der Wasseraufspeicherung und des Ausgleichvermögens hochgelegener natürlicher Seen ist eine diesem Zweck günstige Geländegestaltung Vorbedingung. Man findet diese Art der

1) Schweiz. Bauz. Bd. XLVIII.

2) Nach Schweiz. Bauz. Bd. XLII.

Wasserkraftnutzung vornehmlich in gebirgigen Ländern. Die Schweiz bietet dazu mehrfach Gelegenheit. Es sei u. a. auf das Wasserkraftwerk von Vouvry hingewiesen, das den Abfluß des Taney-Sees mit 950 m

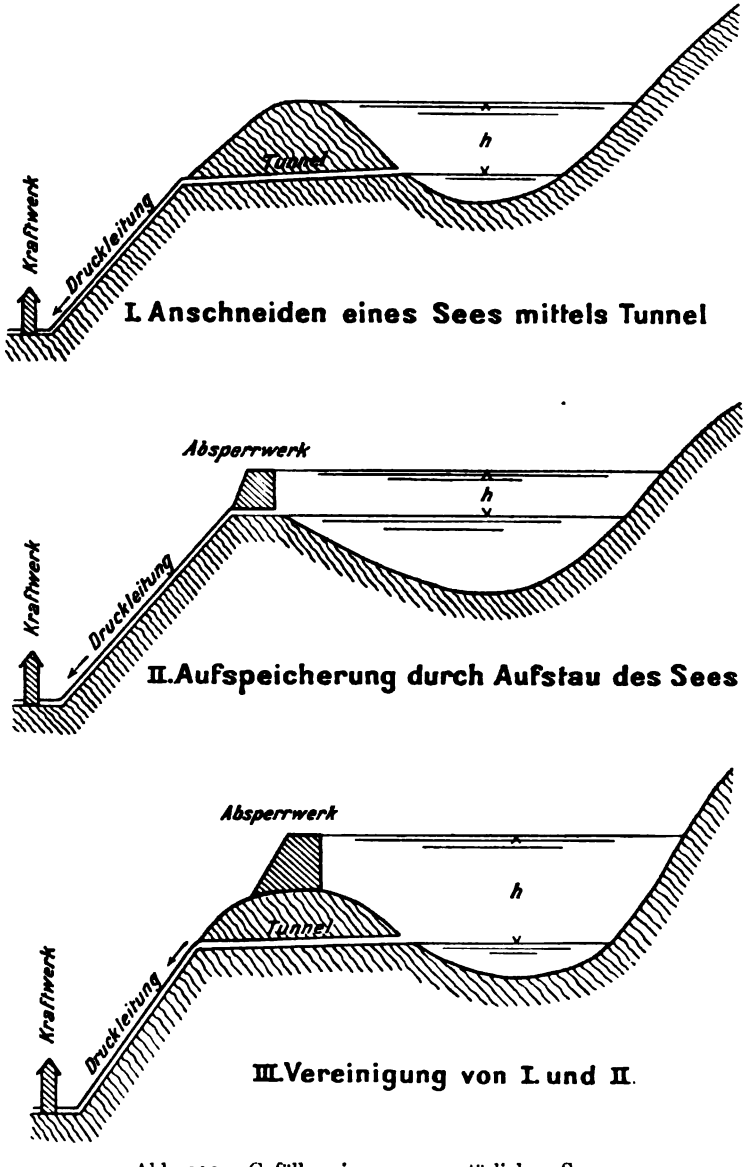


Abb. 112. Gefällgewinnung an natürlichen Seen.

Gefälle ausnutzt. Derartige Anlagen finden sich ferner auf der skandinavischen Halbinsel.

Die Erschließung des Gefälles eines hochgelegenen Seebeckens wird möglich, wenn die Durchbohrung eines die Seeufer bildenden Hanges mittels eines Tunnels und die Ableitung des Kraftwassers nach einer niedriger gelegenen Ebene, in der das Kraftwerk errichtet wird, mit wirtschaftlich angängigem Aufwand ausführbar ist (Fall I in Abb. 112). Das Gefälle kann noch vermehrt und, falls erforderlich, ein weiterer Ausgleichsraum für Wasserschwankungen gewonnen werden, wenn die Aufhöhung der Uferränder des Sees nach II in Abb. 112 erfolgt. Fall III

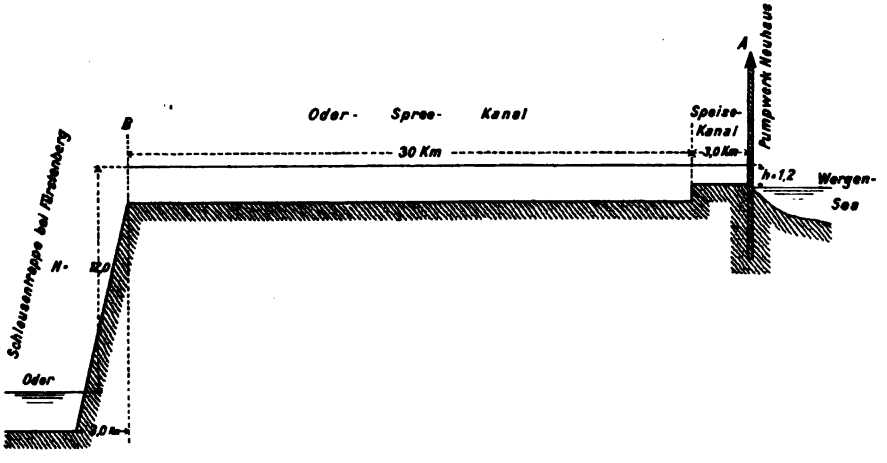


Abb. 113. Kraftgewinnung an den Schleusen im Abstieg des Oder-Spree-Kanals nach der Oder und Spree.

zeigt eine Vereinigung dieser beiden Ausführungsarten. Alle diese 3 Fälle sind in Norwegen nutzbar gemacht bzw. geplant, am See Mjösvand, am Sonerensee[1]) usw.

Ein Beispiel im kleinen, das sich durch die eigene Art der Kraftausnutzung des Wassers eines natürlichen Sees besonders hervorhebt, bietet die Speisung des Oder-Spree-Kanals für Schiffahrtszwecke (Abb. 113). Die Pumpenanlage von Neuhaus besorgt die künstliche Speisung der Scheitelhaltung dieses Kanals mittels eines etwa 3 km langen Zuleiters. Im Pumpgebäude stehen eine ältere Wasserhebemaschine und eine Zentrifugalpumpe, die das Wasser aus dem Wergen-

1) Zeitschr. f. Bauwesen 1900.

See in den Zubringer heben. Der Antrieb erfolgt durch Dampfkraft. Die Leistung beträgt etwa 3 cbm/sek. Dieses künstlich gehobene Wasser liefert nicht nur den Ersatz des Wasserverbrauchs beim Durchschleusen in den Schleusen des Abstiegs nach der Oder und der Spree, sowie für die Verdunstungverluste usw., sondern es wird ein Teil an den Schleusengefällen von Kersdorf und Wernsdorf, sowie an dem Fürstenberger Abstieg in Kraft umgesetzt. Der Hubhöhe von etwa 1 m in Neuhaus steht z. B. an den Fürstenberger Schleusen ein Gefälle von annähernd 13 m gegenüber und dieser Gefällgewinn von rd. 12 m macht die künstliche Hebung des Kraftwasseranteils in Neuhaus zu einer wirtschaftlich vorteilhaften Arbeit, wie dies die nachfolgende Betrachtung dartut.

Es sei Q in cbm die zu hebende Betriebswassermenge. Dann ist für die Hebung erforderlich die rohe Kraftleistung Qh. Gewonnen wird die Kraft QH, wo H und h in m. Wenn η der Wirkungsgrad von Dampfmaschine und Pumpe an der Hebestelle A ist, so ist die erforderliche Leistung in PS. $= \frac{Q \cdot h \cdot 1000}{75 \cdot \eta}$.

Man kann η etwa $= 0{,}56$ bis $0{,}6$ annehmen. Es wird andererseits an der Schleusentreppe an Kraft gewonnen, wenn η_1 den Wirkungsgrad der Turbinen bedeutet:

$$N = \frac{Q \cdot H \cdot 1000}{75} \cdot \eta_1.$$

Somit ist der Kraftgewinn:

$$M = \frac{Q \cdot H \cdot 1000}{75} \eta_1 - \frac{Q \cdot h \cdot 1000}{75\,\eta}.$$

Für $\eta = 0{,}6$ und $\eta_1 = 0{,}75$

$$M = \frac{Q \cdot H \cdot 1000}{75} \cdot 0{,}75 - \frac{Q \cdot h \cdot 1000}{75 \cdot 0{,}6}.$$

Für $M = 0$, d. h. für den Fall, daß keine Kraft mehr gewonnen wird, ist

$$0 = \frac{Q \cdot H \cdot 1000}{75} \cdot 0{,}75 - \frac{Q \cdot h \cdot 1000}{75 \cdot 0{,}6},$$

woraus folgt

I. $H = \frac{22}{10} h = 2{,}2\,h$, d. h. die erschließbare Höhe H muß mindestens das 2,2fache der Hubhöhe betragen, wenn noch ein Überschuß an Kraft vorhanden sein soll. Hierbei ist vorausgesetzt, daß in dem Werte

h auch die Größe des erforderlichen Fließgefälles der Wassermenge Q von Punkt A nach B einbegriffen ist[1]).

Soweit die technische Betrachtung über die gewinnbare Kraft. Bei

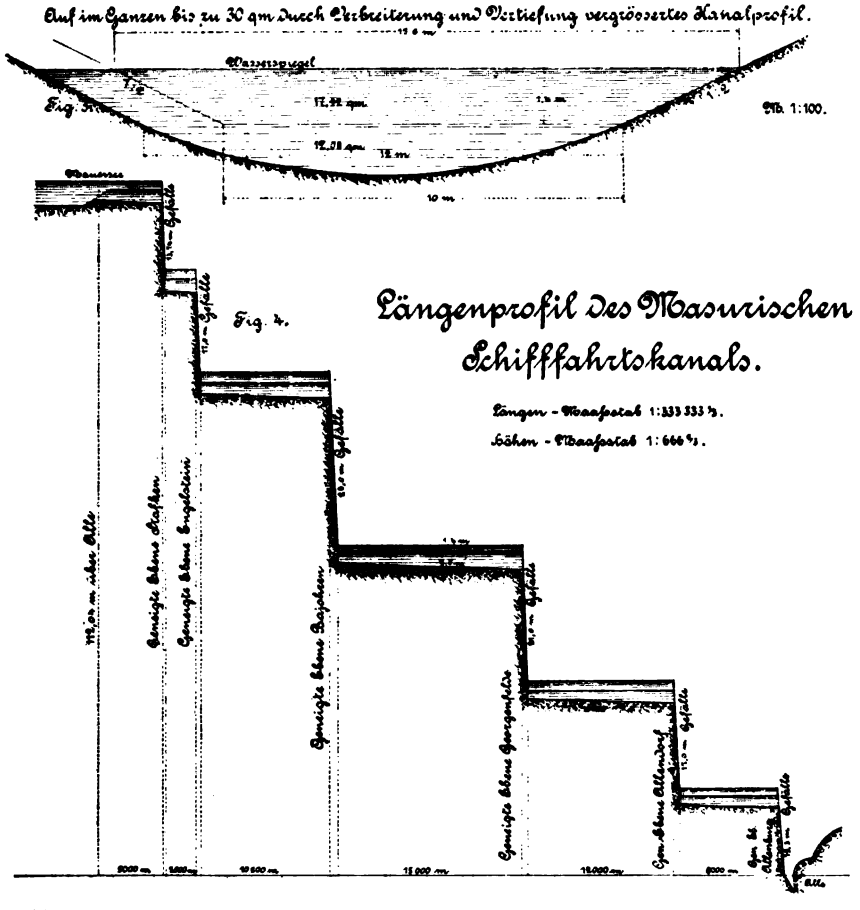


Abb. 114. Plan zur Nutzbarmachung der Wasservorräte der Masurischen Seenplatte in Ostpreußen durch einen gemeinsamen Schiffahrts- und Betriebskanal.
Gefällhöhe 112 m, verteilt auf 6 geneigte Ebenen.
Gesamtkraftgewinn 13000 PS.

der Prüfung des wirtschaftlichen Wertes der in B erzeugten Kraft wird man sich vergegenwärtigen müssen, daß der wirtschaftliche Wert dieser Kraft so groß sein muß, um sowohl eine Deckung der Aufwendungen

1) S. auch Tolkmitt, Grundlagen der Wasserbaukunst.

für die Turbinenanlage bei B als auch für das Pumpwerk in A abzugeben, vorausgesetzt, daß die Zuleitung A—B, wie beim Oder-Spree-Kanal, zu anderen Zwecken an sich hergestellt werden muß. Im gegebenen Falle könnte in Betracht kommen, das Pumpwerk in A elektrisch anzutreiben durch die im Abstieg bei B gewonnene und ferngeleitete Kraft.

Bezeichnet W den Verkaufspreis für die Jahrespferdekraft, K die Gesamtanlagekosten für die Kraftausnutzung, H die Gesamtgefällhöhe der Turbinen im Punkt B, p den Betrag in v. H. für Zinsen, Tilgung, Unterhaltung und Betrieb, so ist

$$\frac{Q \cdot (H - 2{,}2\,h) \cdot 0{,}75 \cdot 1000 \cdot W}{75} = \frac{K \cdot p}{100}.$$

II. $$H - 2{,}2\,h = \frac{K \cdot p}{1000\,Q \cdot W}.$$

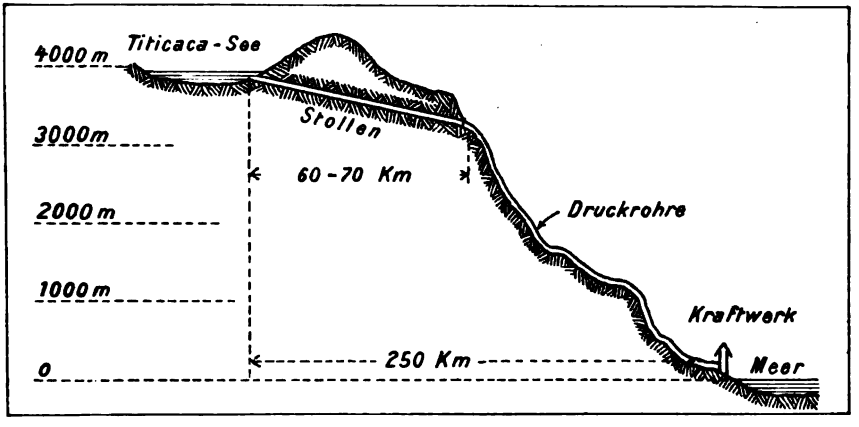
Es müssen also, um die Anlage technisch und wirtschaftlich zu gestalten, die beiden Bedingungen I und II erfüllt sein. — Diese Betrachtungen führen allgemein zu entsprechenden Schlußfolgerungen für den Fall, daß die Wasserversorgung der Scheitelstrecke eines Kanals durch natürliche Zubringer unschwer zu ermöglichen ist. Man wird dann mit Vorteil darauf Bedacht nehmen können, die Zuführung von Speisungswasser größer zu machen als der Bedarf an Wasser für die Schleusungen und Sickerverluste beträgt. Der Überschuß kann zweckmäßig an den Staustufen des Kanalabstieges in Kraft für den Betrieb der Schleusen umgesetzt werden.

Einen Plan für die Krafterschließung der Wasservorräte der Masurischen Seenplatte (Ostpreußen) hat Intze aufgestellt. Der Betriebskanal, der zugleich Schiffahrtszwecken dienen sollte, würde vom Mauersee abzweigen und seine Vorflut im Pregelfluß bei Wehlau finden. Die Höhenverhältnisse sind in Abb. 114 zur Darstellung gebracht. Der Schiffahrtskanal erforderte darnach eine Querschnittsfläche von 17,9 qm, die Kraftausnutzung eine Vermehrung um 12,1 qm. Der ganze Querschnitt war sonach auf 30 qm bemessen. Näheres über dieses Projekt siehe Intze, Nutzbarmachung erheblicher Wasserkräfte durch den Masurischen Schiffahrtskanal, vergl. auch Abschn. IVc. Die Ausführung dieses Unternehmens ist neuerdings beschlossen worden, aber mit der Einschränkung, daß der Kanal lediglich für Schiffahrtszwecke hergestellt wird.

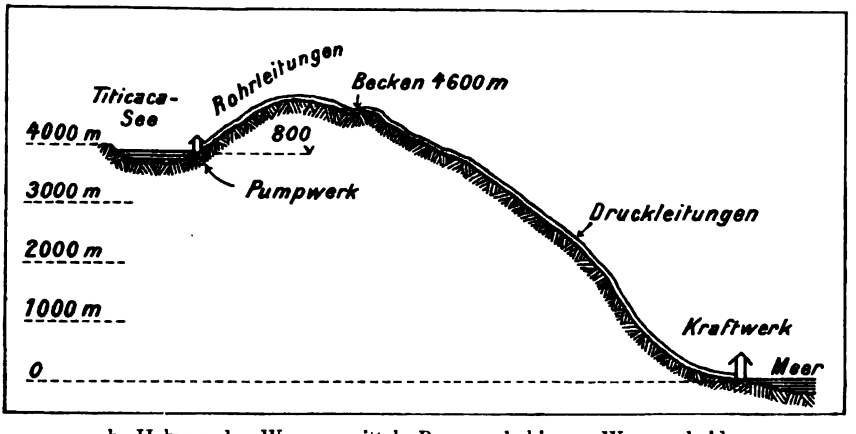
Erwähnt seien an dieser Stelle ferner die Projekte zur Erschließung

der Wasservorräte der hochgelegenen Seen Westpreußens, sowie das bayrische Projekt der Ableitung des Walchensees in den Kochelsee, wo ein Gefälle von 200 m zur Verfügung steht[1]).

Eine Ausführung dieser Art im großen wird in Peru (Südamerika)



a. Anschneiden des Sees mittels Stollen.



b. Hebung des Wassers mittels Pumpwerk bis zur Wasserscheide.

Abb. 115a und b. Geplante Nutzbarmachung des Titicaca-Sees für Kraftgewinnung.

geplant. Über die Wasserkräfte dieses Landes finden sich einige Mitteilungen im Engineering Magazine[2]).

1) S. v. Donat, Die Kraft der Isar und die kürzlich erschienene Denkschrift der bayrischen Staatsregierung: Die Wasserkräfte Bayerns.

2) Dez. 1906.

Die gegenwärtige Kraftausnutzung im südlichen Peru ist unbedeutend und für Kraft- und Lichtzwecke in Arequipa sind etwa 1000 PS. nutzbar gemacht. In der unmittelbaren Nähe von Mollendo im Tambotale können aber eine Reihe kleinerer Wasserkräfte erschlossen werden. Der Chilefluß ist in hohem Maße für die Nutzbarmachung von Wasserkräften günstig und man gibt die dort vorhandenen Kräfte — bei einem Gefälle von 3000 m bis zum Meeresspiegel — zu 240000 PS. an. Nur wird ihre Nutzbarmachung durch die Rücksichten auf geplante Bewässerungen des Landes etwas beengt. Am Rimacflusse werden die gewinnbaren Kräfte auf 100000 PS. berechnet.

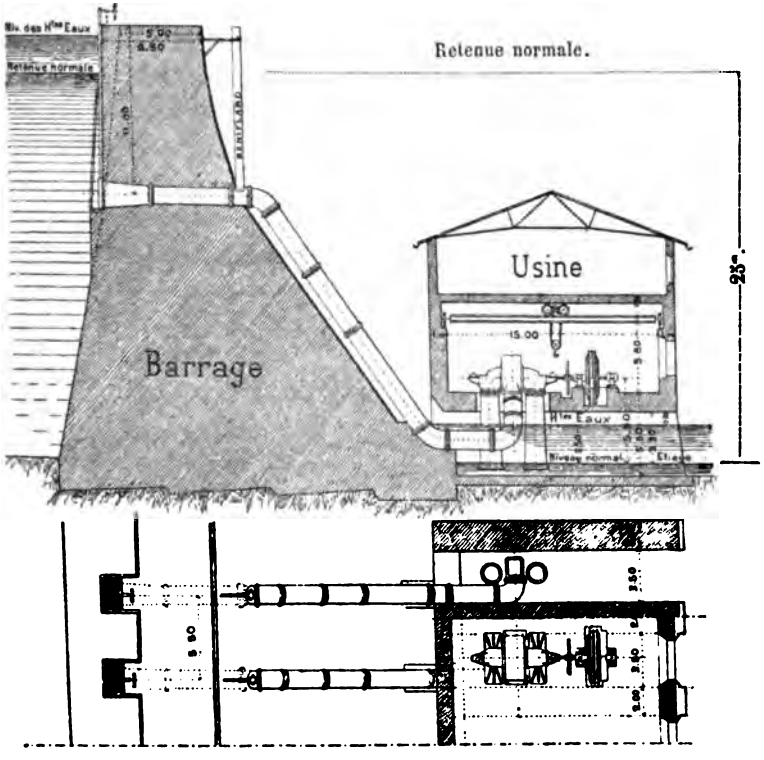
Das sind gewiß ansehnliche Kraftgrößen; sie treten aber wesentlich zurück gegenüber einem Projekt zur Verwertung der im Titicacasee aufgespeicherten Energie. Der Plan muß sowohl durch die Größe der zu gewinnenden Kraft, wie auch besonders durch die Art, wie dies geschehen soll, das Interesse jedes Ingenieurs erregen. Dieser See liegt 3800 m über dem Meeresspiegel, hat eine Wasserfläche von 6600 qkm und eine durchschnittliche Tiefe von 20 m. Der Abfluß des Sees beträgt 100 cbm sekundlich. Der See liegt in einer Mulde und ist auf allen Seiten von Bergen von 250 bis 800 m Höhe umgeben.

Für die Nutzbarmachung des Sees für Kraftzwecke sind 2 Projekte aufgestellt. Nach dem einen Plan müßte ein 60—70 km langer Stollen (Abb. 115a) durchgeschlagen werden. Das Kraftwerk würde am Meer — etwa 250 km vom See entfernt — aufgestellt werden.

Der Tunnel würde außerordentliche Kosten verursachen. Man beabsichtigt deswegen nach dem zweiten Plane (Abb. 115b) das Wasser zunächst in ein auf der Wasserscheide zwischen See und Meer gelegenes Becken zu pumpen und von dort das Gefälle nach dem Kraftwerk auf 524 km Entfernung auszunutzen[1]). Man berechnet, daß 1520000 PS. nötig sein würden, um die 100 cbm nach dem 800 m höher gelegenen Behälter zu heben, während andererseits 100 cbm bei einer Gefällhöhe von 4600 m eine Rohkraft von 6133000 PS. darstellen. Abzüglich der 1520000 PS. für die Wasserhebung würden noch 4613000 PS. übrig bleiben. Davon gehen 699000 PS. in den Rohrleitungen und 1915000 PS. in den Turbinen, Generatoren usw. verloren, so daß für den Verkauf rd. 2000000 PS. nutzbar übrig bleiben. Die Pumpen sollen durch die eigene

1) Man hat dabei angenommen, daß die Leitung einer Eisenbahnlinie folgt; in Wirklichkeit würde man einen kürzeren Weg wählen.

aus dem See genommene Energie elektrisch betrieben werden; nur für die erstmalige Hebung würden Dampfkräfte aushilfsweise erforderlich sein. Bedeutsame Kräfte des Landes sind zur Zeit tätig, dieses kühne Unternehmen der Verwirklichung näher zu bringen.



1 : 500 Nach De La Brosse, Install. Hydro-électr.

Abb. 116. Querschnitt der Talsperre mit Kraftwerk zu Queuille bei Clermont im Sioule-Flusse. Kraftleistung: 5000 PS.

Gewinnung von Gefällhöhe durch Aufstauung in Sammelbecken.

In den Sammelbecken findet neben der Ausgleichung des Wasserabflusses eine Gewinnung von Kraftgefälle dadurch statt, daß der Schwerpunkt des gestauten Wassers gehoben wird. Die Erfahrungen, die man über die Wasserspiegelschwankungen an der Talsperre im Eschbachtale gemacht hat, haben erkennen lassen, daß der mittlere Wasserstand in dem Staubecken während des ganzen Jahres nicht sehr

tief unter den Stand des gefüllten Weihers zu sinken pflegt. Naturgemäß wird diese Bewegung von der Größe des Beckens und der Art des Wasserzuflusses und der Entnahme abhängen. Aber man wird rechnen dürfen, daß im Durchschnitt gut zwei Drittel der gesamten Stautiefe des Beckens als mittleres Nutzgefälle verwertbar wird. Bei dem Staubecken des Kubelwerkes, dessen Wassertiefe 15 m beträgt, ist eine tiefere Absenkung als 7 m unter den höchsten Wasserstande bisher nicht eingetreten. Dann bleiben noch 400000 cbm im Becken, die an sich im Kraftbetriebe keine wesentliche Rolle spielen.

Dieses Eigengefälle der Talsperren kann dadurch noch gesteigert

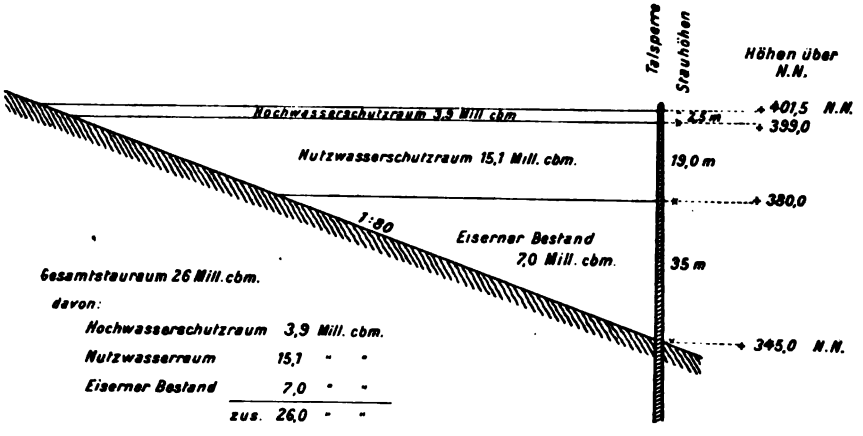


Abb. 117. Höhenplan der Okertalsperre (Harz) als Beispiel für die Verwertbarkeit eines »eisernen Bestandes« in den Sammelbecken. (Projekt.)

werden, daß im unteren Beckenraum ein »eiserner« Bestand geschaffen wird in Form eines Wasservorrates, der im laufenden Betriebe stets unberührt bleibt (Abb. 116). Neben der dadurch erzielten Gefällgewinnung ist ein solcher Raum für die Ausgleichung der Gefällschwankungen vorteilhaft, ein Umstand, der für den Betrieb der Turbinen von Bedeutung ist. Man kann bei den gewöhnlichen dreieckförmigen Talquerschnitten rechnen, daß mit Drangabe des unteren Drittels des Beckenraumes mehr als zwei Drittel der gesamten Stauhöhe ständig gewonnen wird. Die dabei entstehenden Mehrkosten müssen ihre Deckung in dem Wert der vermehrten Kraft finden. Ertragsberechnungen werden meist dartun, daß dies der Fall ist, sofern für die Kraft ein preiswerter Absatz vorhanden ist. Der Umstand, daß an sich eine vergrößerte mechanische Arbeits-

leistung für das wirtschaftliche Leben geschaffen wird, darf dabei nicht außer acht bleiben, ebenso die Sicherheit, die ein solcher »eiserner« Bestand als letzte Aushilfe in ganz außergewöhnlich trockenen Jahren darzubieten vermag. Der Betrieb der Talsperren mit Wasserkraftwerken hat erkennen lassen, daß ein solcher Raum, der für den Ausgleich des Wassers bei Aufstellung eines Wasserwirtschaftsplanes ganz außer Betracht bleibt, für den Turbinenbetrieb als durchaus erwünscht erscheint. Will man den eisernen Bestand als letzte Aushilfe wahren, so muß man die Rohre für die Betriebswasserentnahme allerdings an die Sohle des Beckens legen. Die in Abb. 116 dargestellte Anordnung hat aber den Vorteil, daß stets reines Wasser in die Turbinen gelangt. Das Wasser im Grunde des Beckens ist immer mehr oder minder trübe und mit Unreinlichkeiten durchsetzt, die mit dem strömenden Wasser durch die Turbinenschaufeln hindurchgehen und einen erhöhten Angriff ausüben.

Die Frage der Rentabilität möge ein Beispiel veranschaulichen[1]). Am geplanten Okerbecken (Harz) mit 22,1 Mill. cbm Nutzraum bringt ein Reserveraum von 7 Mill. cbm einen Gefällgewinn von 35 m (Abb. 117). Bei dem vorhandenen geringsten Jahresabfluß von 42 Mill. cbm berechnet sich der Kraftgewinn zu

$$\frac{42\,000\,000 \cdot 1000 \cdot 35 \cdot 0{,}75}{60 \cdot 60 \cdot 75} = 4{,}1 \text{ Pferdekraftstunden}$$

oder 3,01 Mill. Kilowattstunden. Wird die Energie auf 20 bis 30 km mit rd. 20 v. H. Verlust übertragen und am Verbrauchsort nach Kleinverteilung ein Preis von nur 9 Pf. für die Kilowattstunde in Ansatz gebracht, so würde sich eine Einnahme von $3\,010\,000 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}09 =$ rund 216700 Mark ergeben. Der Einheitspreis der Talsperre beträgt nach einer genauen Kostenveranschlagung 27,6 Pf. für 1 cbm Stauraum. Mithin ist die Mehraufwendung für den Reserveraum $7\,000\,000 \cdot 0{,}276 = 1\,930\,000$ Mark. Die Kosten der Kraftanlage und des Fernleitungsnetzes, die für die Kraftverwertung an sich aufgebracht werden müssen, sind bei dieser vergleichenden Aufrechnung außer acht gelassen. Darnach würde sich eine Verzinsung des Anlagekapitals von $\frac{0{,}2167}{1{,}93} \cdot 100 = 11{,}2$ v. H. ergeben, wovon für Tilgung, Unterhaltung und Betrieb

1) Die Unterlagen zu dieser Betrachtung sind entnommen dem Projekt der Landesanstalt für Gewässerkunde. Jahrbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands. Besond. Mitt. Bd. 1 Heft 1.

etwa $^3/_4$ v. H. abgehen mögen. Die Anlage eines »eisernen« Bestandes erscheint darnach unter verschiedenen Gesichtspunkten als recht günstig.

Eine weitere Frage ist, ob die Zerlegung eines großen Stauraumes in Einzelbecken — sofern die Geländegestaltung dies gestattet — für die Ausnutzung der Wasserkraft vorteilhafter ist als die Ausführung eines einheitlichen Weihers. Diese Entscheidung kann Bedeutung haben,

Fülle phot.

Abb. 118. Der staffelartige Ausbau der beiden Sammelbecken der Stadt Solingen. Das obere Vorbecken ist durch einen Staudamm mit Betonkern abgesperrt.

wenn der volle Verkauf der Kraft aus der Talsperre zunächst nicht zu erwarten ist. Der allmähliche staffelartige Ausbau der Becken würde unter Schonung des gegenwärtig aufzuwendenden Geldes es möglich machen, der Entwicklung des Unternehmens schrittweise zu folgen. Eine solche Teilung des Niederschlagsgebietes ist z. B. vorhanden bei der neuen Anlage für die Wasserversorgung der Stadt Birmingham (England). Das gesamte Niederschlagsgebiet von 184 qkm enthält 6 Becken

von 6 bis 35 Mill. cbm Stauinhalt, wovon drei am Elan-Fluß und drei an seinem Nebenflusse Claerwen übereinander errichtet und geplant sind[1]). Auch die Solinger Talsperrenanlage hat eine solche Zerlegung, bei der das Vorbecken von 100000 cbm und das große Becken von 3 Mill. cbm Stauraum mit etwa 1 m Wasserspiegelunterschied bei gefülltem Becken nacheinander geschaltet sind (Abb. 118). Der Grund war hier, in dem kleinen Becken eine Reserve zu schaffen, falls das Hauptbecken je für kurze Zeit außer Betrieb gesetzt werden muß.

Abb. 119 zeigt die hintereinander geschaltete Anlage zweier Staubecken am St. Louis-Fluß bei Duluth (Nordamerika). Das Kraftwerk I dient zum Teil dem Bergwerksbetriebe, zum Teil Kraft- und Licht-

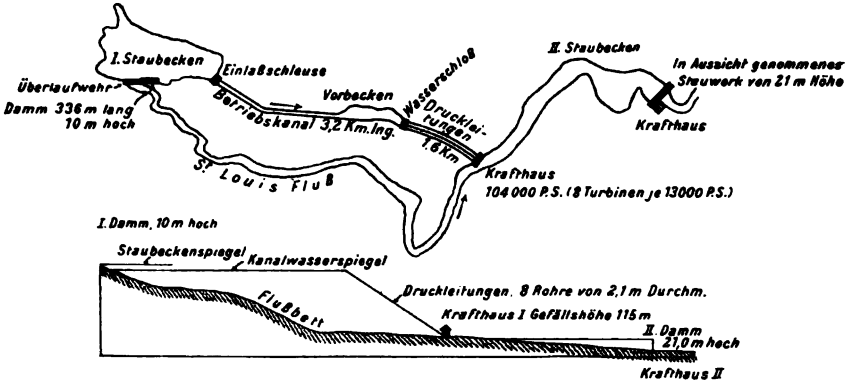


Abb. 119. Zwei hintereinander geschaltete Ausgleichbecken am St. Louis-Fluß bei Duluth (Nord-Amerika).

zwecken in Duluth, St. Paul und Minneapolis nach Fernübertragung auf 25 bzw. 200 km[2]).

Die Anlage wird bei vollem Ausbau 104 000 PS. mit 8 Turbinen von je 13 000 PS. leisten. Zunächst werden 3 Turbinen aufgestellt. Der zukünftige Ausbau umfaßt 8 Druckrohre von 2,1 m Durchmesser. Um 150 m oberhalb des Kraftwerkes ist ein Standrohr von 1,8 m Durchmesser angeordnet, das 70 m hoch geführt ist, um plötzliche Belastungsschwankungen im Kraftgebäude auszugleichen. Bemerkenswert ist, daß

1) Engineering 1904 II S. 103. Solche Zerlegung hat auch das Wasserversorgungs- und Kraftwerk der Stadt Genua (Allgem. Bauz. 1906 S. 37) und die im Bau begriffene neue Wasserversorgungs- und Kraftanlage der Stadt Chemnitz. Hier werden nach vollem Ausbau 3 Talsperren in 3 Staffeln übereinander vorhanden sein.

2) The Engineer 1907, S. 155.

für alle Druckrohre ein Standrohr angeordnet ist, indem die Druckrohre durch ein Querrohr miteinander in Verbindung gesetzt sind.

Wenn man erwägt, daß große Becken sich gemeinhin für die Einheit (cbm) des gestauten Wassers billiger stellen als kleine Weiher und einen besseren Ausgleich des Wasserabflusses und der Gefällhöhen ermöglichen, sowie daß bei jenen ein einheitliches Zentralkraftwerk geschaffen werden kann, während im anderen Falle Einzelwerke mit dezentralisiertem Betriebe errichtet oder lange kostspielige Rohrleitungen nach dem Zentralwerke hergestellt werden müssen, so wird ein einheitliches Becken vorteilhafter erscheinen. Immerhin wird man hier keine allgemein gültige Regel aufstellen können. Die Untersuchung wird bei gegebenen Vorbedingungen an der Hand eines Wasserwirtschafts- und Betriebsplanes und auf der Grundlage von vergleichenden Kosten- und Ertragsberechnungen erfolgen müssen. Als Aushilfsmittel kann in Betracht kommen, die Abmessungen der Sperrmauer für ein großes Becken nach Höhe und Sohlenbreite für den endgültigen Ausbau festzulegen, aber die Mauer vorläufig nur in teilweiser Höhe herzustellen und die Vollendung der künftigen Entwicklung zu überlassen. Vom Standpunkte der Technik, d. h. soweit die Güte des Mauerkörpers der Talsperre, die dadurch in gewissem Grade eine trennende Schicht im Inneren erhält, in Betracht kommt, ist ein solches Verfahren allerdings nicht gerade erwünscht. Und es liegt die Gefahr vor, daß durch den unvollständigen Ausbau der vorhandene Wasserreichtum für alle Zeiten unvollständig ausgenutzt bleibt. Das bedeutet aber die Vergeudung nationalen Gutes.

Die Nutzbarmachung von Wassergefälle durch Gewinnung von Druckluft.

Bei diesem seit einigen Jahren in Amerika mehrfach zur Anwendung gelangten Verfahren wird die Energie des fallenden Wassers in Druckluft umgesetzt, die zum Antriebe von Arbeitsmaschinen unmittelbar Verwendung finden kann. Die Einrichtung und Wirkungsweise solcher hydraulischen Luftkompressoren ist kurz folgende: Das Wasser gelangt in einem Obergraben O (Abb. 120) zu einem senkrechten Fallrohr F und nimmt seinen Lauf durch dieses Fallrohr nach dem Behälter A im Grunde, von wo es durch den Schacht R zum Unterwasser U aufsteigt. Durch diese Bewegung des Wassers wird Luft aus der Atmosphäre angesaugt und mitgerissen. Der Zutritt der Luft zu dem Rohr F wird

durch Zuleitungsrohre am Kopfe des Fallrohres, die über den Oberwasserspiegel hinausragen, besonders gefördert (s. Abb. 121). Die Luft scheidet sich in dem Behälter A vom Wasser ab und kann von hier aus durch eine Rohrleitung D entnommen und zur Verwendungsstelle geleitet werden. Das nutzbringende Gefälle entspricht dem Wasserspiegelunterschied zwischen Oberwasser und Unterwasser. Die Luft im Behälter A steht unter einem Druck, der dem Höhenunterschied zwischen dem Unterwasser und dem Wasserstand im Behälter A entspricht. Als ein besonderer Vorzug dieses Verfahrens darf das Fehlen von bewegten Maschinenteilen angesehen werden. Scientific American[1]) bemerkt dazu: Man kann sich kaum eine einfachere Art, die Kraft eines Stromes zu fassen und in eine für Verteilung mehr geeignete Form zu bringen, vorstellen.

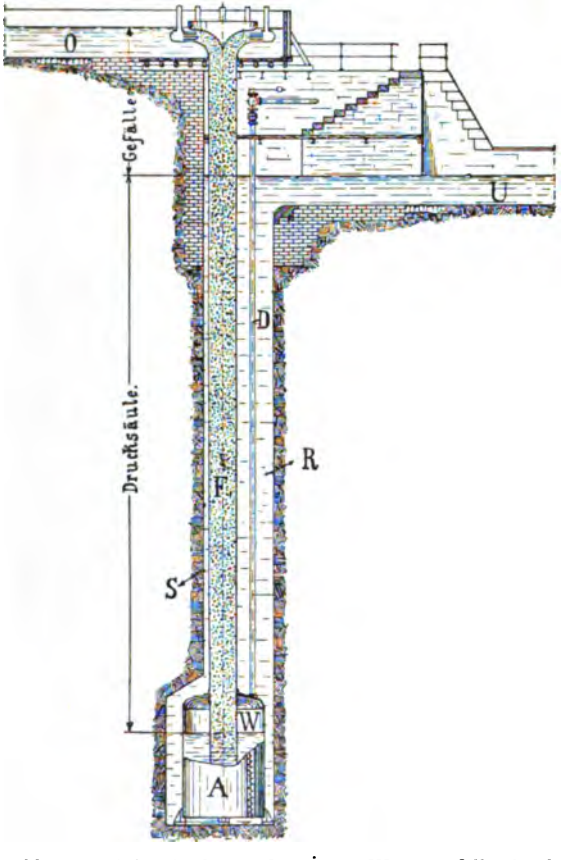


Abb. 120. Die Nutzbarmachung von Wassergefälle durch Gewinnung von Druckluft in hydraulischen Luftkompressoren.

Anstatt Turbinen zu verwenden, wie es gewöhnlich geschieht, um die hydraulische in mechanische Kraftleistung umzusetzen, und dann Kompressoren zu benutzen, um die mechanische in pneumatische Kraft

1) 16. 3. 07.

umzuwandeln, wird bei diesem Verfahren die Luft durch das Wasser unmittelbar komprimiert, ohne jede Zwischenschaltung eines Mechanismus.

Der Betrieb ist ein einfacher und ununterbrochener. Die Nutzwirkung solcher Anlagen wird zu 75 bis 90 v. H. angegeben. Das Verfahren kommt vor allem bei Vorhandensein größerer Wassermengen in Betracht. Im allgemeinen werden für die Anwendbarkeit besonders günstige örtliche Verhältnisse Vorbedingung sein, sowohl für den Einbau

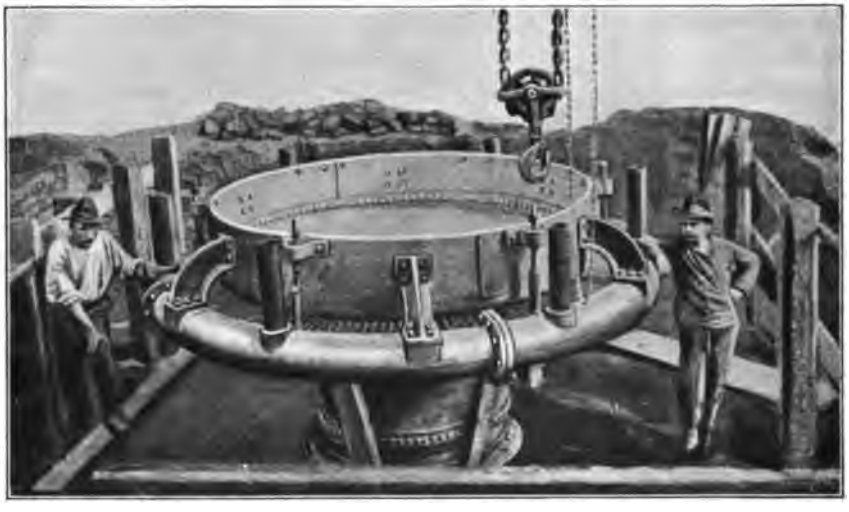


Abb. 121. Der Saugkopf des hydraulischen Luftkompressors in Dillingen (Saar). Wassermenge 1 bis 1,5 cbm/sek., Gefälle 2 bis 3 m.

der Kompressionsanlage als für die Verwertung der Druckluft an Ort und Stelle. Für die Verwertung in der Ferne wird zu prüfen sein, ob die Erzeugung der elektrischen Energie mittels Maschinen, die durch die gewonnene Druckluft angetrieben werden, und die elektrische Fernübertragung noch mit genügender Nutzwirkung geschehen kann. Die Schachtabteufungen werden meist kostspielig sein, besonders in wassergetränktem Untergrunde.

Ein Modell kleinen Maßstabes sah der Verfasser im Sommer 1902 in Mülheim a. Rh. im Betriebe. Eine Versuchsanlage (50 PS.) ist s. Z. auf dem Gebäude der Dillinger Hüttenwerke in Dillingen (Saar) eingebaut worden. In Megog (Quebec) befindet sich eine derartige hydraulische

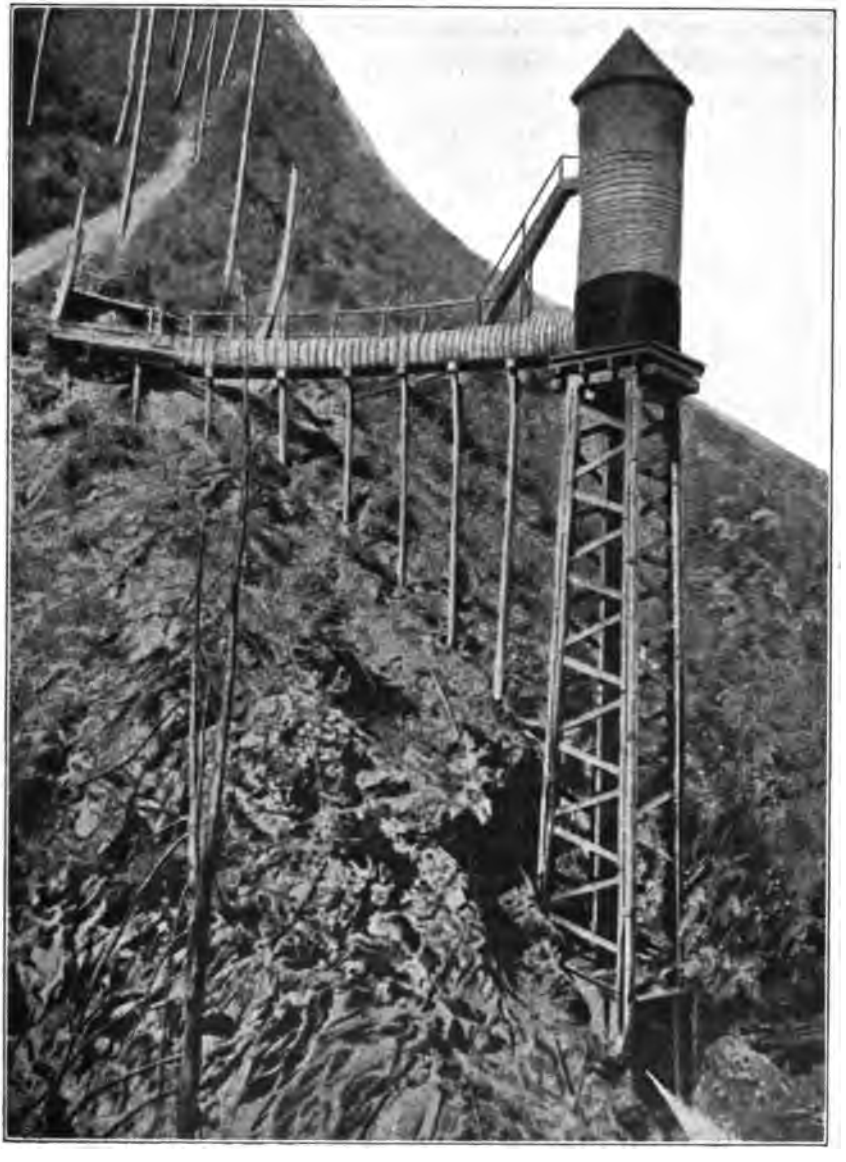


Abb. 122. Hydraulische Luftkompressionsanlage in Ainsworth (British Columbia).
Wassermenge 1,5 bis 2 cbm/sek., Gefälle 32 m.
Leistung 500 PS.
Zuleitung des Wassers mittels Holzrohr von 1,5 m Durchm. Fallrohr 0,8 m l. W. Schachttiefe 63 m. Spannung der Druckluft 6 Atm. Luftabscheidekessel 5 m hoch und 5 m im Durchm.

Luftkompressorenanlage seit 1897 in Betrieb[1]). Weitere Anlagen sind ausgeführt zu Ainsworth (Brit. Col. 1899, 500 PS.) Abb. 122 und Norwich (Con.) 1500 PS.[2]).

Eine neuere Anlage befindet sich an den Victoria-Minen im nördlichen Teile von Michigan im Betriebe (s. Abb. 123). Das Gesamtgefälle vom Oberwasser bis zum Wasserspiegel der Druckluftkammer beträgt hier 104,25 m, während der Höhenabstand (Druckluftpressung) vom Wasserspiegel der Kammer bis zum Unterwasser 82,6 m ist. Das Nutz-

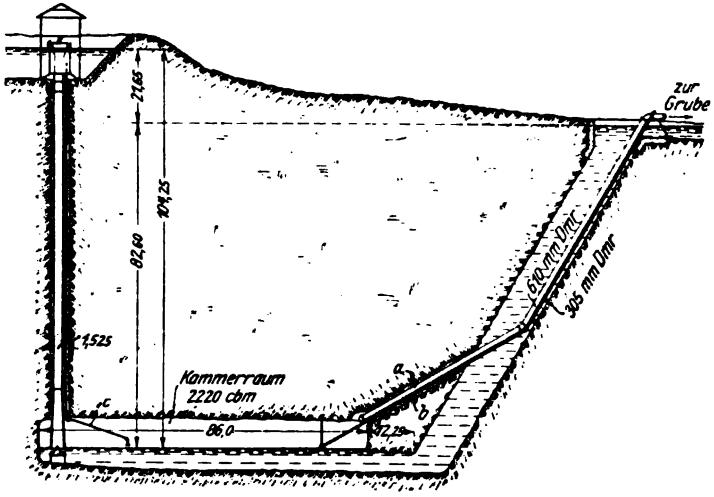


Abb. 123. Wasserkraft-Druckluftanlage der Victoria-Grube (Mich.).
Leistung 4000 PS.

Zuleitung des Wassers mittels Kanal. Drei senkrechte Abfallrohre von je 1525 mm Durchm. sind mit Zementmörtel glatt ausgestrichen, um die Reibung zu vermindern. Die Druckluft hat $8^1/_4$ Atm. Pressung. Die Betriebsluft wird an der höchsten Stelle der Kammer durch eine Leitung (*a*) entnommen; eine zweite Leitung (*b*) führt einen etwaigen Überschuß an Preßluft ab.

gefälle ist also 21,6 m. Die Lufttemperatur in der in dem Fels ausgesprengten Kammer ist fast ebenso niedrig wie die des Wassers und fast frei von Feuchtigkeit. Dies ist ein Vorteil gegenüber der hohen Wärme, die sonst komprimierte Luft zu besitzen pflegt. In diesem Kraftwerk der Victoria-Minen sollen 82 v. H. der rohen Wasserkraft nutzbar gemacht werden. Leistung 4000 PS. Die Druckluft wird gebraucht für

1) Scientific American 8. 4. 1900.

2) S. die Veröffentlichung des Wasserkraft-Druckluft-Syndikates, woher auch die Abb.

Gesteinsbohrmaschinen, Pumpen und sonstigen Bergwerksbetrieb. Die Anlagekosten sollen 92 Mk. für 1 PS., die jährlichen Betriebskosten 9,45 Mk. für 1 PS. betragen[1]).

C. Das Kraftwerk und seine Einrichtung.

Allgemeines.

Beim Ausbau des Kraftwerkes tritt die Arbeit des Bauingenieurs und des Maschineningenieurs stark in Berührung. Ein gegenseitiger Austausch der beiderseitigen Ansichten wird sich nicht umgehen lassen, soll das Kraftgebäude in seinen konstruktiven Anordnungen des Unter- und Aufbaues und in der maschinellen Einrichtung zweckmäßig und wirtschaftlich angelegt sein und im Betrieb gut arbeiten. Die Praxis geht hier bei den Entwurfsarbeiten zweierlei Wege: entweder der Bauingenieur macht den vorläufigen Entwurf und trifft im allgemeinen die Anordnung der Maschinen nach Stelle und Raum, um sodann dem Maschineningenieur den Entwurf zur Durchsicht und gegebenenfalls zur Abänderung und Ergänzung vorzulegen nach Maßgabe des Maschinenaufbaues. Vielfach sehen wir aber auch den umgekehrten Weg einschlagen, wenn Turbinenfabriken oder Elektrizitätsgesellschaften diese Unternehmungen betreiben. Auf alle Fälle wird es auch geraten erscheinen müssen, in nicht zu später Stunde den Elektroingenieur in die Beratungen mit hinein zu ziehen. So sind hier die drei Hauptrichtungen des heutigen Ingenieurwesens in gemeinsamem Anteil tätig, ohne daß die Einheitlichkeit des Gesamtentwurfs dadurch gestört wird, wie dies die Erfahrung erweist.

Die Lage des Kraftwerkes.

In dem Kraftwerk findet die Umformung der natürlichen Energie in eine für mechanische Arbeitsleistungen verwendbare Form statt. Die Stätte dieser Umsetzung ist innerhalb enger Grenzen an die Scholle gebunden. Das Vorhandensein eines hohen Gefälles im Gebirge oder eine passende Geländegestaltung am unteren Flußlaufe legen, ohne daß dem Konstrukteur viel Wahl bleibt, die Lage des Kraftwerkes fest. Hier treten jene die Platzfrage bei einem Dampfwerk beeinflussenden Gesichtspunkte, wie die Rücksichtnahme auf die Grundstückspreise, die Sorge für eine

1) Scientific American 16. 3. 07, Le Génie Civil 18. 5. 07 u. Z. d. V. d. Ing. 1907 S. 915.

gute Kohlenanfahrt und Speisewasserversorgung der Kessel zurück. Die billigen Preise des Grund und Bodens — gegenüber städtischen Grundrenten — kommen den meist abgelegenen Wasserkraftunternehmungen zugute, und dieser Vorteil vor Wärmekraftwerken gleicht mehr oder weniger die Kosten und die Kraftverluste der Fernleitung aus. Soweit für die Lage von Wasserkraftwerken ein Spielraum gelassen ist, wird es wünschenswert sein müssen, mit der Krafterzeugung so nahe als möglich

Abb. 124. Kraftanlage am Winooski Fluß bei Burlington, Vt.
Das Kraftwerk ist an einer Stelle errichtet, an der der Fluß in seinem Flußbett einen steilen Abfall hat. Das 35 m lange Gebäude bildet gleichsam einen Sperrdamm des einen Flußarmes, der durch eine Felseninsel vom andern Arme getrennt wird. (Adams, Electric Transmission.)

an die Verbrauchsstellen zu rücken. Der Gesamtbetrieb bei der Anordnung des Kraftwerkes im Schwerpunkt des Verbrauchs wird zentralisiert, der Absatz der Kraft erleichtert und bei etwaiger elektrischer Übertragung werden die Kraftverluste und Leitungskosten am geringsten. Man kommt hierbei mit niedrigen Spannungen aus, wenn ein kleines Verteilungsnetz von wenigen Kilometern Durchmesser zu versorgen ist. Die Lage des Kraftwerkes in Entfernung von mehr als 3 bis 4 km nötigt dazu, hohe

Spannungen zu verwenden und den Strom im allgemeinen in Form von Wechselstrom nach dem Schwerpunkt des Verbrauchs zu leiten und dort nach Umformung mit kleiner Gebrauchsspannung (etwa 220 Volt) an die Abnehmer abzugeben. Die Einzelverteilung kann dann in der gleichen Stromart erfolgen oder es tritt die Umformung in Gleichstrom ein.

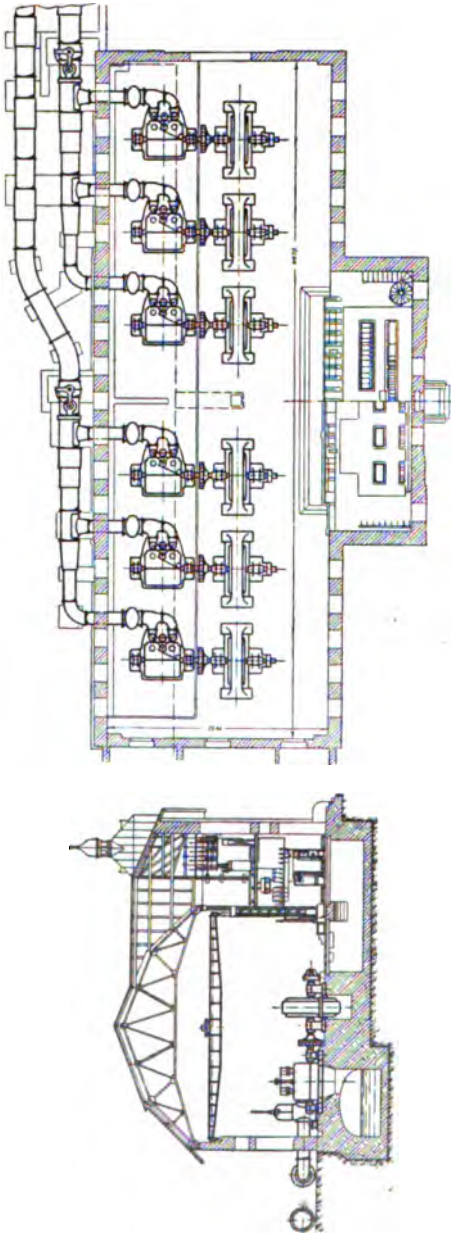
Die Lage des Kraftwerkes ist im allgemeinen durch die Vorflut eines natürlichen Wasserlaufes bestimmt (Abb. 63, 64, 65, 76 u. 78). Die Turbinen müssen nahe dem Unterwasser und dürfen höchstens um das Maß des Sauggefälles von etwa 6 m darüber stehen, wenn die volle Ausnutzung des Gesamtgefälles stattfinden soll. Bei Triebwerkskanälen wird es je nach der Art des Geländes zweckmäßig sein, das Kraftwerk so anzuordnen, daß dabei die Bewegung der Erdmassen ein Minimum wird. Man wird es vermeiden, durch den tiefliegenden Unterkanal kostspielige Einschnitte zu verursachen, aber auch den Oberwasserkanal nicht gern im Auftrage anlegen wollen, weil dadurch die Gefahr von Sickerverlusten herbeigeführt wird. Die Gunst der Geländeverhältnisse wird man dabei nach Möglichkeit ausnutzen (Abb. 124). Bei dem Elektrizitätswerk der Stadt Bruck (Österreich) ergab sich z. B. die Lage des Kraftwerkes am Betriebskanal durch einen plötzlichen Geländeabfall, welcher es ermöglichte, den Oberwasserkanal vollkommen im Einschnitt zu führen[1]). Was die Lage des Kraftwerkes zum Stromstrich anbetrifft, so wird es als ein Nachteil der Anordnung des Rheinfelder, auch Chèvres-Werkes angesehen, daß sich der Betriebskanal am Krafthause verengt, wodurch vielleicht ein kleiner Druckhöhenverlust entstehen mag. Aber sicher ist dieser so klein, daß er nicht wohl die sonstigen Vorzüge dieser Lage des Gebäudes aufzuheben vermag. Die Lage senkrecht zum Stromstrich vermeidet zwar den Druckverlust, wird aber eine starke Verbreiterung der Wasserfläche bedingen, also einen weiteren und kostspieligen Eingriff in das Land erforderlich machen.

Die Einrichtung des Kraftwerkes.

Die baulichen Einrichtungen des Krafthauses hängen von dem Zweck des Werkes ab. Oft findet man bei neueren Wasserkraftanlagen den Betrieb der Wasserhebung und elektrischen Krafterzeugung vereint, so

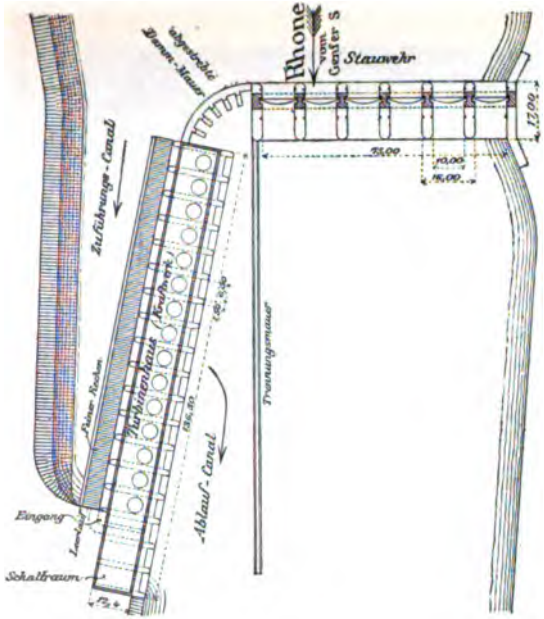
1) Z. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1905 S. 333.

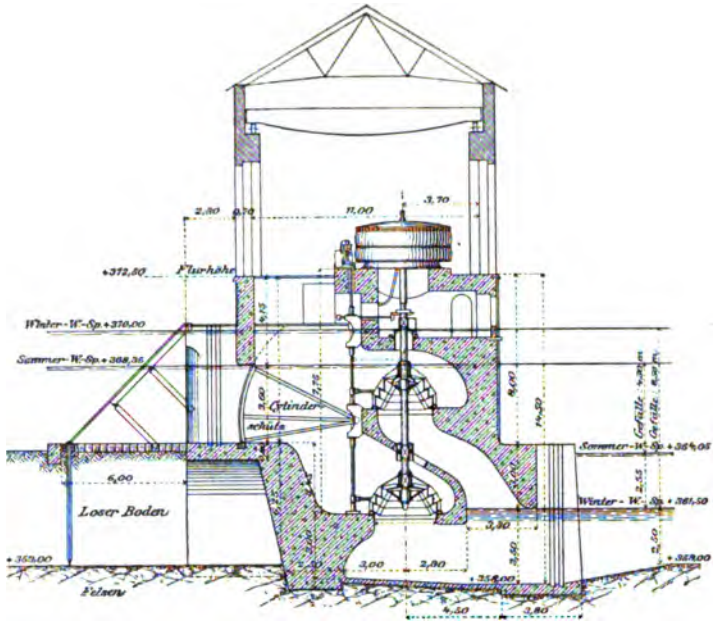
z. B. bei einigen Talsperrenanlagen in Rheinland und Westfalen (Solingen, Ennepe). Das Kraftwerk der Stadt Zürich ist hier ebenfalls zu nennen.



1 : 500 Nach Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing.

Abb. 125. Hochdruck-Turbinenanlage der Sillwerke bei Innsbruck.
Gesamtleistung: 15 000 PS. mit sechs Turbinen von je 2500 PS. Nutzgefälle: 182 m. Zurzeit sind zwei Turbinen und ein Druckrohr eingerichtet. System: zwei Peltonräder mit dem Generator auf wagerechter Welle sitzend.

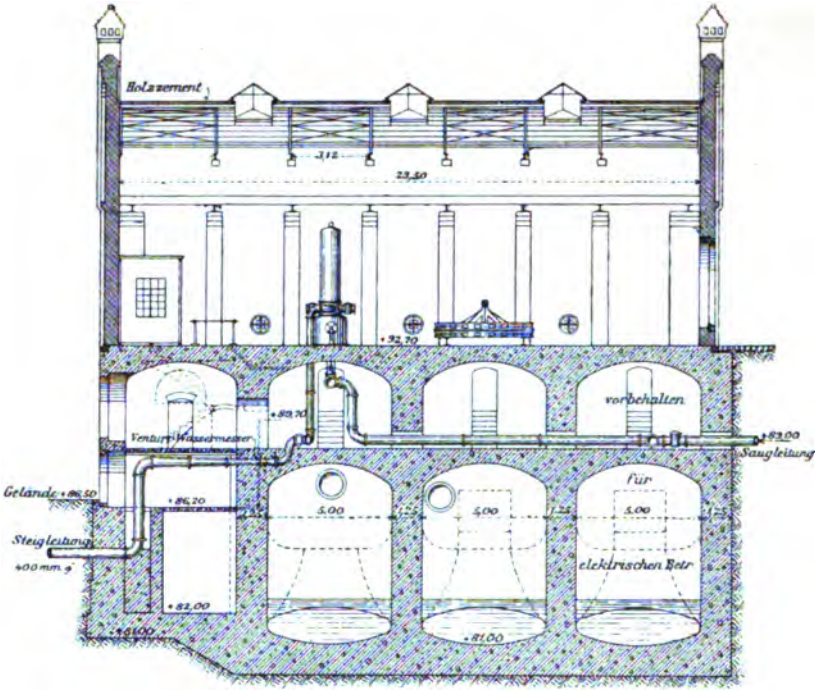




Nach Zeitschr. f. Bauw.

Abb. 126. Niederdruck-Turbinenanlage von Chèvres bei Genf.

15 Doppelturbinen von je 1000 PS. mittl. Leistung. Das durch Aufstau der Rhone mittels Schützenwehr gewonnene Gefälle beträgt im Sommer 4,3 m, im Winter 8,5 m. Die Ausnutzung des wechselnden Gefälles geschieht durch staffelförmig aufgebaute Turbinen. Wasserverbrauch der Turbinen: 9 bis 19 cbm/sek. — Die untere Turbine arbeitet nur im Winter und nutzt zu Zeiten des Niedrigwassers das ganze Gefälle von 8,5 m aus; sie wird »turbine d'hiver« genannt. Die obere »turbine d'été« arbeitet im Sommer zusammen mit der unteren.



Schnitt G H durch das Kraftwerk.

Abteilung für Pumpenbetrieb. 1:300. Abteilung für elektrischen Betrieb.

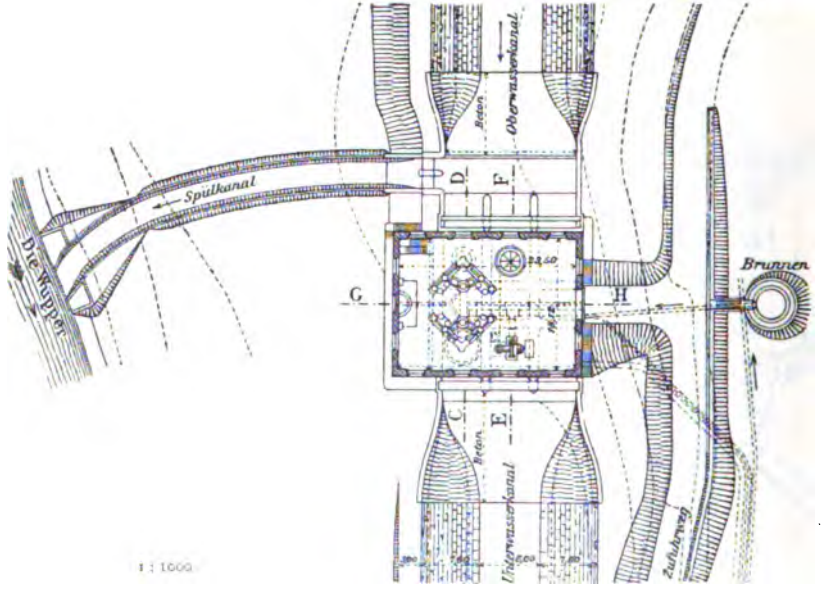


Abb. 127 und 128. Vereinigtes Nieder- und Hochdruckkraftwerk für Wasserhebung und elektrischen Betrieb (Solingen).

Spülkanal zur Beseitigung von Schlammablagerungen vor den Turbinen. Im Schnitt GH Saugleitung für die Zuführung des Trinkwassers zu den Pumpen und Steigleitung nach dem 170 m höher gelegenen Hochbehälter.

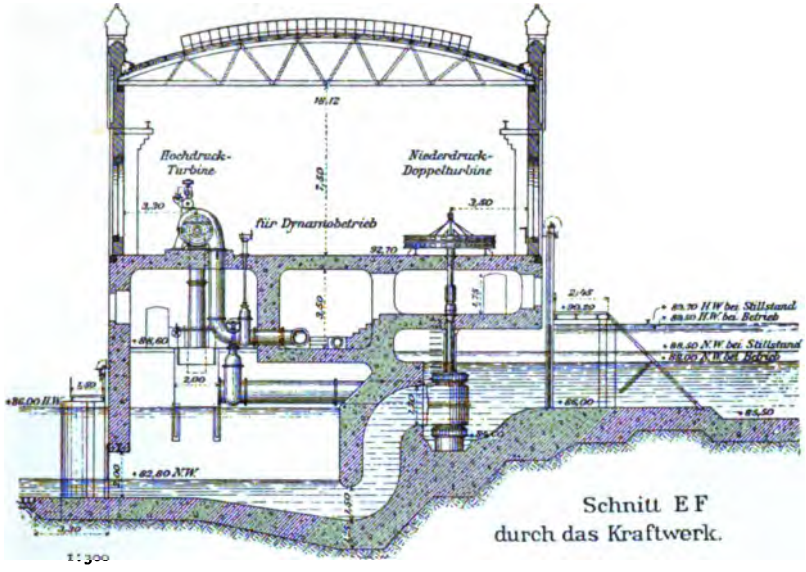


Abb. 129. Vereinigtes Nieder- und Hochdruckkraftwerk für Wasserhebung und elektrischen Betrieb (Solingen).
Mittleres Gefälle: 5 bzw. 50 m. Unterbau bis zur Höhe des Maschinenraumes in Beton hergestellt.

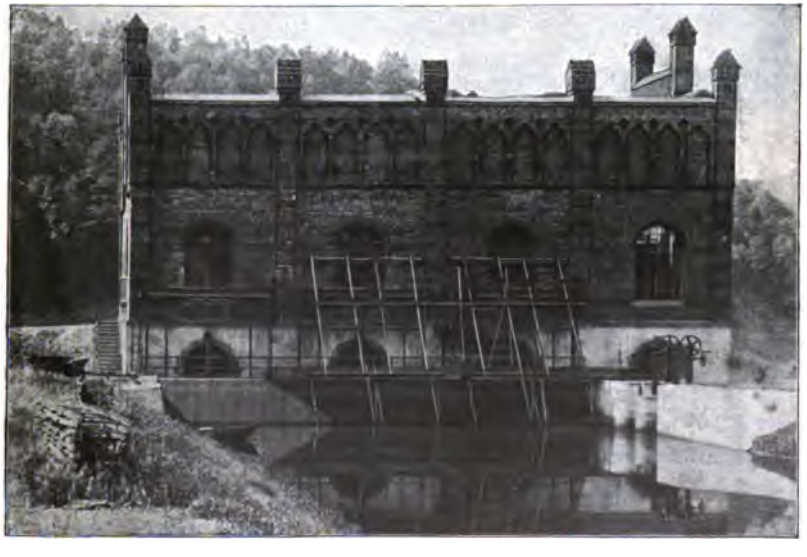


Abb. 130. Einlauf zu den Niederdruckturbinen mit mechanisch betriebener Reinigungsvorrichtung des Rechens (Wasser- und Elektrizitätswerk Solingen), s. auch Abb. 67.

In der Kraftanlage der Stadt Nordhausen a. H. ist diese doppelte Ausnutzung des Wassers als Trink- und Kraftwasser hintereinander geschaltet. Das im Sammelbecken gestaute Wasser treibt zunächst unter Ausnutzung eines Gefälles von 192 m eine Turbine, um dann nach dem Hochbehälter abzufließen, von wo es sich in natürlichem Gefälle in das Leitungsnetz der Stadt verteilt. Die gleiche doppelte Ausnutzung zeigt die Wasserversorgungs- und Kraftanlage der Stadt Genua[1]).

Abb. 131. Ablauf aus den Turbinen mit Übergang zum Unterwasserkanal (Wasser- und Elektrizitätswerk Solingen).

Eine verschiedene Ausbildung des Unterbaues im Krafthause ist bedingt, je nachdem das Werk mit Hochdruck- oder Niederdruckturbinen arbeitet. Jenen wird das Kraftwasser durch Rohrleitungen zugeführt, sie stehen über dem Unterwasserspiegel, jederzeit zugänglich (Abb. 125). Die Niederdruckturbinen befinden sich unter dem Wasserspiegel des Oberkanals (Abb. 126). Die Hochdruckturbinen sind in eisernen Gehäusen untergebracht, die Niederdruckturbinen stehen frei im Wasser. Eine Vereinigung beider Betriebssysteme besitzt das Kraftwerk der Stadt Solingen, das in Abb. 127 bis 132 dargestellt ist. Aus diesen

1) Allgemeine Bauz. 1906 S. 31.

Abbildungen sind auch die Einrichtungen ersichtlich, die zur Beseitigung der Ablagerungen des sehr schlammhaltigen Wupperwassers oberhalb des Turbineneinlaufs getroffen sind und die sich, wie der bisherige Betrieb ergeben hat, durchaus bewährt haben. Die Turbinenkanäle werden in Mauerwerk oder neuerdings viel in Beton (Abb. 133) hergestellt

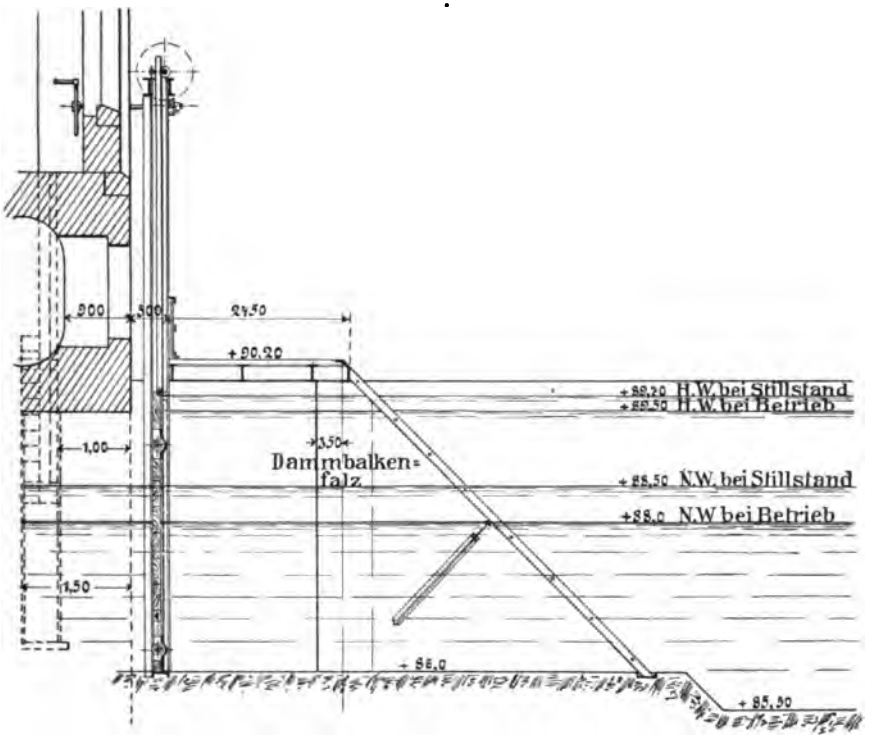


Abb. 132. Einlauf zu den Turbinenkammern an der Niederdruckseite des Elektrizitätswerkes der Stadt Solingen.

Der Einlauf ist in seiner ganzen Breite durch einen Rechen aus Flacheisen von $^{10}/_{30}$ mm Stärke und 25 mm Lichtweite abgeschlossen. Davor eine Rinne von 50 cm Tiefe für Schlammablagerungen mit Spüleinrichtung. Abschluß der Turbinenkammern durch Zugschütze (für den Betrieb) und Dammbalken (für Ausbesserungsarbeiten).

und bedingen im allgemeinen einen stärkeren Unterbau und umfangreichere Gründungs- und Wasserbauten als die Abflußkanäle der Hochdruckturbinen (Abb. 134).

Turbinenkammern in Eisenbeton sind bisher wenig zur Ausführung gelangt. Die mit Eisenbeton bezweckte Materialersparnis und die Leich-

tigkeit des Baues kann hier unter Umständen ein Nachteil sein gegenüber den durch den Betrieb des Werkes bedingten Erschütterungen.

Abb. 133. Betonierung der Turbinenkammern für das Elektrizitätswerk der Stadt Solingen.

Über zwei neuere Ausführungen dieser Art s. »Beton und Eisen« März 1907 S. 71.

Die Frage, ob hier Eisenbeton am Platze, wird nur durch die Erfahrung gewonnen werden können. Wenn zwar theoretisch die geringen Abmessungen des Eisenbetons durchaus zutreffend sein können und auch dort vollauf berechtigt sind, wo — wie in Hochbaukonstruktionen — das Widerstandsvermögen eines Trägersystems gegenüber den nach ihrer Richtung und Größe klar erkannten äußeren Kräften in Betracht kommt, so stellt doch der Wasserbau im Unterbau der Turbinengebäude neben Berücksichtigung der dynamischen Wirkungen

Abb. 134. Gründungsarbeiten für das Kraftwerk zu Spier-Falls am Hudson-Fluß.
Nutzbares Gefälle 24 m.
Leistung 50000 PS.

noch wesentlich weitergehende Forderungen hinsichtlich der Dichtigkeit unter dem Überdruck benachbarter höherer Wasserstände. Auch ist zu bedenken, daß diese Konstruktionen stark den Angriffen der Witterung ausgesetzt sind, zumal in rauhem Gebirgsklima. Beton hat sich dort durchaus bewährt, wie der Verfasser an vielen Ausführungen im Bergischen Lande, insbesondere auch den Bauten der Solinger Talsperren, des Kraftwerks und seiner hydraulischen Anlagen beobachtet hat. Hinsichtlich des Eisenbetons in feingegliederter Form scheint das nicht immer der Fall zu sein. Die Dauer wird hier entscheiden müssen. Dazu kommt, daß diese aufgelösten Konstruktionen des Eisenbetons keineswegs billiger sich zu erweisen pflegen als nach den üblichen Konstruk-

tionsgrundsätzen als Stützmauern usw. gebaute Bauwerke. Der Arbeitslohn für den Ausbau des Eisennetzes fällt dabei bedeutend ins Gewicht

Abb. 135. Zahnradübertragung von der senkrechten Turbinenwelle auf die wagerechte Dynamowelle im Kraftwerk von Buchanan, Mich. (Amerika).

Nach einer Denkschrift über die Elektrizitätswerke der Stadt Schaffhausen.

Abb. 136. Kraftübertragung von der Turbine auf die Dynamos zunächst mittels konischen Rädervorgeleges auf Seilrollen und von diesen mittels Hanfseil auf die Seilrollen der Dynamos. Leistung der Turbine: 350 PS. (Elektrizitätswerk der Stadt Schaffhausen a. Rh.)

und hebt den Vorteil der geringeren Massen wieder auf. Im Einzelfalle bei beschränktem Raum oder aus sonstigen Gründen wird Eisenbeton bei Verminderung der Gliederstärken bis auf gewisse nach praktischen Gesichtspunkten zu wählende Abmessungen immerhin in Frage kommen, besonders auch, um Rissebildungen infolge der Erschütterungen und dynamischen Wirkungen beim Gang der Turbinen, Pumpen und sonstigen Maschinen zu vermeiden.

Die Raumbemessung des Kraftgebäudes ist weiterhin von der Größe der vorhandenen Kraft abhängig. Während man aber bei der Anlage von Dampfwerken den Ausbau nach dem voraussichtlichen Verbrauch einrichtet, wird der Weg bei Wasserkraftentwürfen ein etwas anderer sein müssen. Man wird hier meist — es sei denn, daß es sich um sehr große Wasserkräfte von vielen Tausenden PS. handelt — die Wasserbauarbeiten (Wehre, Kanäle usw.) und auch den Grundriß des Krafthauses voll ausbauen, selbst wenn die ganze Ausnutzung gegenwärtig noch nicht zu erwarten ist. Die Maschinen- und elektrischen Anlagen werden dann dem späterhin steigenden Bedarf angepaßt (Abb. 125). Für den Ausbau der letzteren Einrichtungen wird man den allgemein gültigen Gesichtspunkt nicht außer acht lassen dürfen, daß es sich empfiehlt, hohe Spitzen des Verbrauchs in einzelnen Betriebsstunden nicht durch Maschinen zu versorgen, sondern daß es zweckmäßig ist, in Zeiten geringeren Strombedarfs überschüssige Kraft z. B. in Akkumulatoren aufzuspeichern. Bei solchen Voruntersuchungen über die Kraftleistungen der Maschinen werden Verbrauchsschaubilder, wie sie sich aus dem Betriebe der Elektrizitätswerke ergeben haben, gute Unterlagen für die Beurteilung bieten (Abb. 30). Weiteres hierüber siehe auch Abschnitt III A.

Nicht unwesentlich verschieden ist die Raumbeanspruchung der Turbinensysteme. Die Form und Größe der Wassermotoren ist durch den Zweck bestimmt, dem sie dienen. Dabei ist von Bedeutung die Schnelligkeit der Umdrehung. Der elektrische Betrieb erfordert eine große Umdrehungszahl oder Umfangsgeschwindigkeit, der Pumpenbetrieb eine langsamere Bewegung. Die größere Schnelligkeit führt zu kleineren Abmessungen und damit zur Verbilligung der Kosten. Von Einfluß ist ferner die Art der Kuppelung der Kraft- und Arbeitsmaschinen. Die früher übliche Übertragung durch Zahnrad (Abb. 135), Seil (Abb. 136) oder Riemen wird heute vermieden. Man findet allerdings diese Anord-

nungen noch bei bedeutenden Anlagen[1]), die um das Jahr 1890 und später erbaut sind, und man hat die Zahnradübertragung selbst noch bei neuesten Werken eingerichtet, um bei kleinen Gefällen die für den Dynamobetrieb erforderliche hohe Umdrehungszahl zu erzielen. Die heute aber allgemein angewandte unmittelbare Kuppelung beider Maschinen dadurch, daß sie auf einer Welle angeordnet werden, führt im

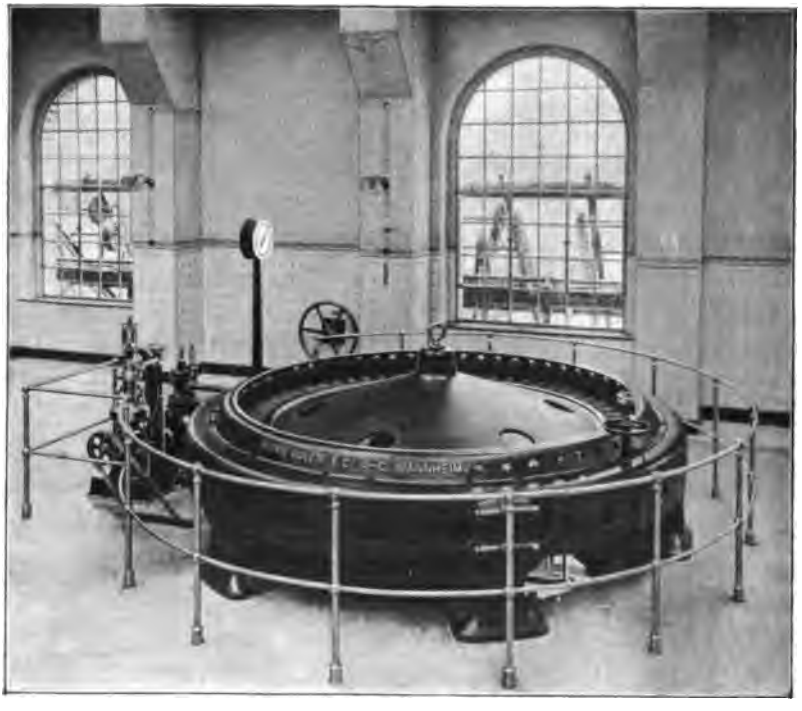


Abb. 137. Drehstromdynamo auf senkrechter Welle mit einer Doppel-Francisturbine (s. Abb. 129) gekuppelt. 240 KW. Leistung bei 5300 Volt Spannung und 100 Umdrehungen in der Minute. Großer Durchmesser des Dynamo zur Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit.

elektrischen wie im Pumpen-Betrieb nicht nur zu bedeutender Raumersparnis und somit Baukostenverminderung, sondern auch zu geringeren Kraftverlusten und zu größerer Einfachheit des Betriebes (Abb. 137, 138 u. 180). Dieser letztere Punkt ist bedeutsam: die Übersichtlichkeit und die Zentralisierung des Betriebes. Die Maschinenge-

1) u. a. Elektrizitätswerk Schweinfurt. Journ. f. Gasbel. u. Wasservers. 1907 S. 407.

bäude haben daher meist nur ein Stockwerk und sind hallenartig ausgebaut. Für den Ausbau der Hochdruckwerke empfiehlt es sich stets, die Rohrleitungen mit den Schiebern unter den Fußboden oder in einen seitlichen Anbau zu verlegen, so daß der Verkehr im Maschinenraum nicht behindert wird. Dieser letztere ist möglichst in eine Ebene zu

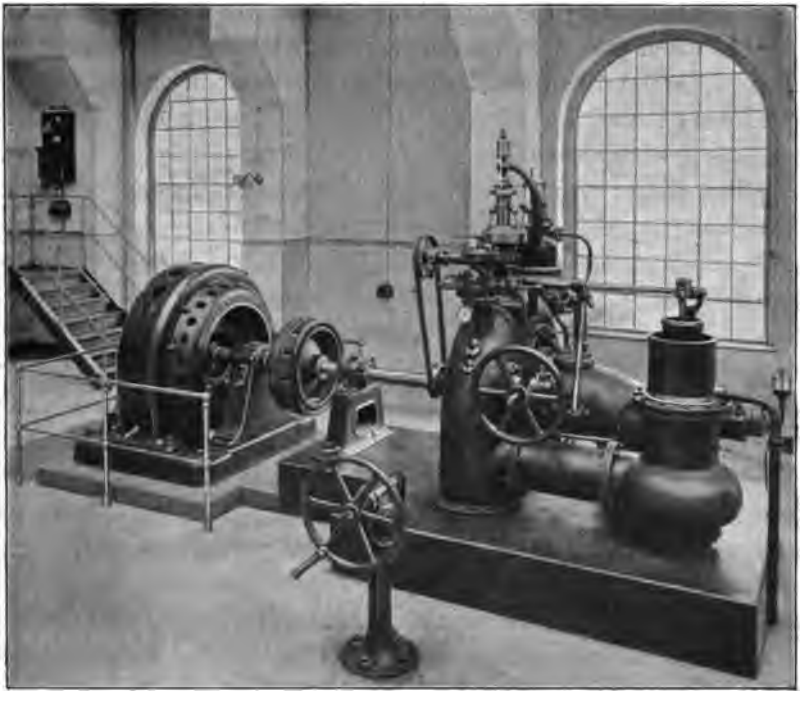


Abb. 138. Francisspiralturbine mit Sauggefälle für 50 m mittl. Nutzdruck mit Drehstromdynamo auf wagerechter Welle gekuppelt (Reibungskuppelung).

Leistung: 300 eff. PS. bei 750 Umdrehungen in der Minute (s. Abb. 129). Geschwindigkeitsregulierung selbsttätig durch hydraulischen Regulator, auf dem Turbinengehäuse sitzend.

legen und von hier aus ist durch die Reguliervorrichtungen der Gang der Maschinen zu leiten. Die Selbsttätigkeit dieser Regulierungen hat in neuerer Zeit den Betrieb wesentlich vereinfacht und günstiger gestaltet. Jede Turbinenkammer erhält zweckmäßig einen unmittelbaren Ausfluß. Für die Kabel sind möglichst begehbare Räume anzulegen. Für die maschinellen Einrichtungen wird im übrigen als allgemeiner

Grundsatz gelten müssen, alle Arbeitsleistungen im Kraftgebäude soweit angängig durch Maschinen — unter Ersparung der Menschenkraft — ausführen zu lassen.

Die Auflösung einer großen Wasserkraft in kleine Einheiten und die Nebeneinanderstellung der Maschinen in einer langen Linie, die eine gute Übersichtlichkeit gewährleistet, bedingt die kennzeichnende Form großer Kraftgebäude; das ist der langgestreckte rechteckige Grundriß (Abb. 52a u. 126). Das führt zu der Frage nach der Größe dieser Einheiten. Während früher der Turbinenbau durch Aufstellen vieler kleiner Krafteinheiten die Gesamtstärke erzielte, geschieht dies heute oft durch wenige Maschinensätze von großer Leistungsfähigkeit, und es ist besonders die amerikanische Wasserkraftausnutzung, an der man diese Entwicklung verfolgen kann. An der großen Kraftanlage von Sault St. Marie (Michigan) ist die Ausnutzung von 46 000 PS. noch in 80 Turbineneinheiten von je 580 PS. zerlegt. Demgegenüber muß man sich vergegenwärtigen, daß bei den Werken der Hudson-Fluß-Kraftgesellschaft Einheiten von 4000 PS., bei der de Sabla-Gesellschaft solche von 8000 PS. und neuerdings Einheiten von 10 000 PS. und 10 500 PS. bis 12 500 PS. am Niagarafall und für die Shawinigan-Kraftgesellschaft zur Anwendung gekommen sind. Auch in Europa ist man in letzter Zeit zu Maschinensätzen bis zu 3000 PS. übergegangen. Als der größte Wasserverbrauch in einer Turbine durfte bis vor kurzem der von 28,5 cbm/sek. im Kraftwerk von Rheinfelden angesehen werden. Die neuerdings im Kraftwerk Beznau a. d. Aare eingebauten Hochwasserturbinen sind für einen Höchstverbrauch von 37 cbm konstruiert[1]). Es ist klar, wie sehr durch die Art der Zerlegung der Gesamtkraft das Raumbedürfnis und der Betrieb beeinflußt werden muß. Ein Ausbau mit vielen kleinen Einheiten wird zwar immer bessere Anpassungsfähigkeit an den Wechsel im Kraftbedarf besitzen, und man wird nie soweit gehen können, die ganze vorhandene Wasserkraft mit einer Maschine zu fassen, es sei denn, daß durch einen Wärmemotor eine Aushilfe sichergestellt ist. Die Zerlegung der Kraftgesamtheit in die Turbineneinheiten wird auch abhängen von dem Zweck, dem die Kraft dienen soll, also von der Art der Stromabgabe, d. h. ob das Werk elektrochemischen, Kraft- oder

1) Schweiz. Bauztg. 1907 23. 2. 07 S. 97. Daselbst Näheres über die Feststellung des Wirkungsgrades der Turbinen dieses Werkes.

Lichtbetrieben dienen soll. Die Wahl der Turbinenzahl wird weiterhin von dem Gesichtspunkt beeinflußt werden, ob man feststehende Turbinen-Typen verwenden oder ob man ihre Konstruktion der Eigenart des Einzelfalles anpassen will. Das gleiche gilt hinsichtlich der elektrischen Generatoren. Der leitende Gesichtspunkt muß in diesen Untersuchungen, wie immer, der sein, eine höchste Gesamtwirkung zu erzielen, nicht nur durch die beste Ausnutzung der natürlich vorhandenen Kraft, sondern auch unter Abwägung der Kosten der verschiedenen Ausführungsmöglichkeiten durch den vorteilhaftesten wirtschaftlichen Wirkungsgrad, d. h. durch den größten Reinertrag — privatwirtschaftlich betrachtet — und durch die höchste Allgemeinwirkung — staatswirtschaftlich — betrachtet.

Rußmore[1]) empfiehlt für Einzelanlagen nicht weniger als 4 und nicht mehr als 8 Einheiten anzuordnen. Wo mehrere Kraftwerke zu gemeinsamer Arbeit vereinigt sind, d. h. in ein Netz arbeiten, ist eine Einheit in einem Kraftwerk nicht ungewöhnlich. Ein Beispiel dafür bietet das Talsperrenwerk der Stadt Nordhausen[2]). Die Tabellen in Abschn. V geben eine Übersicht, in welcher Weise an einer Reihe ausgeführter Anlagen die Zerlegung der Gesamtkraft erfolgt ist, und werden bei allgemeinen Entwürfen zum Anhalt dienen können[3]). Dabei wird man auch die Kosten beachten und sich vergegenwärtigen müssen, daß zwei kleine Turbinen — worauf W. Müller hinweist — etwa 10 bis 20 v. H. mehr kosten als eine große von gleicher Leistung; zudem werden im allgemeinen die Kosten der wasserbaulichen Arbeiten in ersterem Falle größer sein.

Zusammenfassend kann man aussprechen: Die Erfahrung hat erwiesen, daß es sich empfiehlt, um den Betrieb möglichst einfach zu machen, die Gesamtkraft in nicht zu viel Einheiten zu zerlegen. Man sollte für den vollen Ausbau eines Kraftwerkes nicht mehr als 8 bis 10 Einheiten wählen. Man wird in dieser Rücksicht, d. h. in der Beschränkung der Zahl der Einheiten bei hohen Gefällen weiter gehen können als bei niedrigen und wird bei großen Wassermengen in Niederdruckwerken vielleicht nicht immer an 10 Einheiten als Grenze festhalten

1) Eng. Rec. 1. 4. 06.

2) s. S. 286.

3) Vgl. auch v. Miller, Die Versorgung der Städte mit Elektrizität. S. 209 und 224, sowie Wagenbach, Turbinenanlagen.

können. Jedenfalls dürfte man heute kaum noch je wieder soweit gehen wie in Sault St. Marie[1]).

Für die vorläufige Größenbemessung der Kraftgebäude wird man die Angaben der nachstehenden Tab. 19 benutzen können, die vom Ver-

Tabelle 19. Grundfläche der Kraftgebäude einschl. Nebenräume nach Quadratmetern für 1 PS. der Maschinenstärke.

Maschinenstärke in PS.	Quadratmeter Grundfläche
um 1 000	0,31
2 000— 5 000	0,14
5 000—10 000	0,12
10 000—20 000	0,08
20 000—40 000	0,04

fasser aus ausgeführten Anlagen abgeleitet ist. Weiterhin wird die Tab. 20 einen Anhalt bieten. Es empfiehlt sich durchaus, große helle

Tabelle 20. Grundrißabmessungen einiger amerikanischer Kraftanlagen.

Kraftwerk	Länge	Breite	Zahl der Generatoren	Gesamte Leistungsfähigkeit in K.W.	Bemerkungen.
Niagara Nr. 2 . . .	149.0	21,6	11	41 250	Die Turbinen haben
Sault St. Marie . . .	410,0	33.0	80	32 000	wagerechte Achsen
Colgate	82,5	12,0	7	11 250	— mit Ausnahme des
Electra	62	12,0	5	10 000	Niagara-Werkes —
Cañon Ferry	67,5	15,0	10	7 500	und sind mit den
Red Bridge	42,3	17,1	6	4 800	Generatoren unmit-
Santa Ana River . .	38,1	10,8	4	3 000	telbar gekuppelt.
Great Falls	20,2	16,5	4	2 000	
Birchem Bend . . .	16,8	7,8	2	800	

Räume zu schaffen und für eine gute Zugänglichkeit der Maschinen Sorge zu tragen. Das Tageslicht muß von allen Seiten gut hineinfallen, so daß alle dunklen Ecken und Winkel vermieden werden. Die Gänge sollten so breit sein, daß die größten Maschinenstücke abgesetzt werden können. Das sind auch die Vorbedingungen für Sauberkeit im Betriebe. Die Innenausstattung wird bei aller Einfachheit eine gewisse Gediegenheit anstreben müssen. Dafür wird angebracht sein, Wände und Fußboden mit Täfelung bzw. Fliesenbelag zu versehen.

1) s. S. 258.

Maschinenstärke.

Bei der Bemessung der Maschinenstärke eines Wasserkraftwerkes sind zwei Einflüsse maßgebend, die sich durch die Fragen kennzeichnen lassen: 1. Welche Betriebswassermenge steht zur Verfügung? 2. Welcher Belastungsfaktor des Werkes ist im Betrieb zu erwarten? Die leitenden Gesichtspunkte für die Beurteilung der Betriebswassermenge sind in Abschnitt III A erörtert worden, worauf hier verwiesen werden mag. Zu dem zweiten Punkt ist folgendes zu bemerken. Man darf den grundsätzlichen Unterschied zwischen einem dampfbetriebenen und einem hydro-elektrischen Werke nicht übersehen. Jenes kann nach dem vorhandenen Bedarf ausgebaut werden, dieses muß mit einer — wenn auch in einzelnen Jahren schwankenden — im großen Durchschnitt der Jahre gleichbleibenden Kraft rechnen, die schlechthin nicht vermehrt werden kann. Denn die Niederschläge in längeren Zeitläufen gleichen sich auf ein mittleres Maß aus, für das die Wasserergiebigkeit des Einzugsgebietes maßgebend ist.

Es gibt nun zwei Möglichkeiten als Grenzfälle für den Betrieb eines elektrischen Werkes, das dem Einzelbetriebe dient: 1. Entweder ist die Kurve der Kraftleistung des Werkes im Kraftdiagramm annähernd gleichbleibend und parallel zu der Abscissenachse und es ist auch eine gleichbleibende Belastung des Werkes vorhanden. Dann wird ein guter wirtschaftlicher Wirkungsgrad erzielt werden. Diese allerdings seltene Sachlage findet sich an einigen der Niagara-Kraftwerke, die für elektrochemische Industrien arbeiten. In solchem Falle wird man die Maschinenstärke eben dieser Mittelwasserkraft anpassen.

Bei großer Wassermenge richtet man aber die Maschinenleistung oft nur auf die Nutzbarmachung des mittleren Niedrigwasserzuflusses ein.

Der zweite Fall ist der, daß sich einer wechselnden Kraft auch ein wechselnder Kraftbedarf genau anpaßt. Wo diese praktisch allerdings auch seltene Betriebsmöglichkeit vorhanden ist, wird sich ebenfalls ein guter Ertrag ergeben. Aber man wird, um diesen zu wahren, die Maschinenstärke wohl nicht mehr als auf die Mittelwasserkraft bemessen.

Zwischen diesen beiden Möglichkeiten wird im allgemeinen der wirkliche Betrieb sich vollziehen.

Erfahrungsmäßig hat sich in solchen Einzelbetrieben, die ohne Ausgleich der Wasserführung arbeiten, sofern die vorangegebenen günsti-

gen Vorbedigungen nicht vorhanden sind, als zweckmäßig erwiesen, die Betriebswassermenge Q auf 0,4 bis höchstens 0,6 der mittleren Abflußmenge zu bemessen (s. S. 86). Unter Berücksichtigung des zum Werke gehörigen Gefälles ergibt sich hiernach ohne weiteres die Maschinenstärke nach der Formel $\frac{Q \cdot h \cdot \eta}{75}$ (s. S. 7).

Der Betrieb öffentlicher Elektrizitätswerke hat in der bisherigen Entwicklung erwiesen, daß die täglichen Schwankungen der Werke für den höchsten Kraftbedarf bis zu 100 v. H. der durchschnittlichen Leistung betragen können. Der Ingenieur wird sich in solchem Falle mit dem Ausbau des Werkes dem wechselnden Kraftbedarf anschließen oder dahin streben müssen, die Kraftabnahme, soweit eine Beeinflussung des Betriebes der Abnehmer tunlich ist, mit der vorhandenen Kraft in Einklang zu bringen. Das erstere kann durch Aufspeicherung des Wassers, der Elektrizität oder durch Wärmekraftaushilfen erzielt, das letztere durch entsprechende Gestaltung des Tarifes versucht werden.

Hydraulische Aufspeicherungswerke im großen (Talsperren) sind kostspielig und nicht immer ausführbar, aber mindestens wird man zu solchen Anlagen gern greifen, die einen Tagesausgleich schaffen (s. S. 92). Ist nun ein Werk mit einem Akkumulator (Sammelbecken) oder Wärmeaushilfe vorhanden, um vorübergehend die Leistung steigern zu können, so wird man die Maschinenstärke auf die Schwankungen des Tages einrichten und sie — entsprechend dem vorerwähnten Betriebsergebnis — gleich der doppelten mittleren Tageskraft machen, die sich nach dem Wasserwirtschaftsplane ergiebt; man wird also z. B. bei einer Wasserkraft von im Mittel 1000 PS. die Maschinenstärke auf 2000 PS. bemessen, sich aber auch oft mit etwas weniger Ausnutzung abfinden. Dabei wird man überdies die genügende Reserve an Maschinen für Betriebsstörungen vorzusehen haben. Wenn keine Aufspeicherung der Zuflußmenge vor dem Wassergerinne möglich ist, so muß ein Teil des Wassers ungenutzt abfließen, im Falle die Belastung des Werkes kleiner ist als die größte Leistung des Wasserabflusses. Je mehr die Inanspruchnahme des Werkes seitens des Kraftverbrauchs eine schwankende ist, um so günstiger macht sich das Vorhandensein des Ausgleichbeckens bemerkbar. Es wird keine Energievergeudung mehr auftreten; nur wird in den Maschinen, die dem Höchstverbrauch gewachsen sein

müssen, zeitweise das darin angelegte Kapital nicht ausgenutzt[1]). Man bemißt in diesem Falle unter Anlehnung an den oben ausgesprochenen Grundsatz die Aufschlagwassermenge auf 0,4 bis 0,6 des Mittelwassers und die Maschinenleistung auf das Doppelte der sich darnach ergebenden Kraft, falls nicht eine Akkumulatorenbatterie die größten Spitzen des Bedarfs deckt.

Zum praktischen Anhalt für den Ausbau der Maschinenstärke eines Krafthauses bei wechselnden Abflußmengen mögen einige Beispiele ausgeführter Anlagen besprochen werden.

Elektrizitätswerk Solingen. Die Abflußmenge der unregulierten Wupper am Kraftwerk der Stadt Solingen betrug in trockener Zeit als Mindestmaß etwa 1,0 cbm/sek. Nach Regulierung ihrer Wasserführung durch die beiden Talsperren an der Lingese und Bever mit zusammen 5,9 Mill. cbm soll der Abfluß nicht unter 5 bis 6 cbm sekundlich heruntergehen (s. S. 107). Die Mittelwassermenge ist 12 cbm/sek., während bei H.W. 400 bis 500 cbm/sek. zur Abströmung gelangen. Der Ausbau des Kraftwerkes ist hiernach mit 2 Niederdruckturbinen für die Wassermenge von 12 cbm bei 5 m Gefälle, also für rd. 600 PS. erfolgt (Abb. 127 bis 129). Doch wurde bereits im zweiten Betriebsjahre eine dritte Wupperturbine von 350 PS. Leistung aufgestellt, da der Fluß im Winter längere Zeit hindurch 18 cbm/sek. und mehr führt, um den größeren Wasserreichtum für den stärkeren Lichtbedarf im Winter auszunutzen.

Für die Solinger Hochdruckanlage beträgt die mittlere Jahreszuflußmenge des rd. 12 km großen Niederschlagsgebietes der zugehörigen Sengbachtalsperre rd. 270 l/sek. Hiervon gehen für die Trinkwasserversorgung i. M. 70 l/sek. ab, so daß eine mittlere Kraftwassermenge von 200 l/sek. übrig bleibt. Diese 200 l liefern bei 50 m Druckhöhe, die i. M. vom Stauspiegel des Sammelbeckens bis zu den Turbinen zur Verfügung steht, rd. 100 PS. Da aber das 3 Mill. cbm große Becken innerhalb gewisser Grenzen eine beliebige Wasserentnahme gestattet, während andererseits die in einem gemeinsamen Gebäude untergebrachten Niederdruck- und Hochdruckturbinen sich im elektrischen wie im Pumpenbetriebe gegenseitig ergänzen — somit also nur eine zeitweilige Inanspruchnahme der Hochdruckturbinen stattfindet, — so konnte die

1) Engin. News. 10. 1. 07.

aushilfsweise Kraftleistung aus der Talsperre wesentlich höher gestaltet werden als dem Mittel entspricht. Es sind demgemäß in Übereinstimmung mit den beiden 300 PS. starken Niederdruckmaschinen zwei Hochdruckmaschinen von i. M. ebenfalls je 300 PS. Leistung aufgestellt. Die gegenwärtige Leistung des Werkes kann also zeitweilig bis auf 1550 PS. gesteigert werden. Zur weiteren Beurteilung möge die Angabe dienen, daß die gesamte Kraftleistung aus der Wupper und dem Becken bei mittlerem Zufluß jährlich 4 Mill. PS.-Stunden beträgt.

Kraftwerk Heimbach. Die Leistungsfähigkeit des Kraftwerkes Heimbach der Urfttalsperre beträgt i. M. etwa 6000 PS. an 7200 Arbeitsstunden im Jahre. Zur Erzeugung dieser Kraftleistung steht eine mittlere Abflußmenge von 5 bis 6 cbm/sek. zur Verfügung bei einem Gefälle, das, je nach dem Wasserstande im Staubecken, zwischen 70 und 110 m schwankt (s. Betriebsplan S. 104). Die ungleiche Wasserführung des Urftbaches, die bei einem Niederschlagsgebiet von 375 qkm zwischen 1,9 und 500 l/sek. wechselt, wird durch ein Staubecken von 45½ Mill. cbm ausgeglichen. Unter Berücksichtigung der Betriebsbedürfnisse und zur Schaffung einer genügenden Reserve sind für den endgültigen Ausbau 8 Hochdruckturbinen von je 2000 Nutzpferdestärken vorgesehen (s. Abb. 162). Für die Erregung der Drehstromgeneratoren sind 2 kleinere Hochdruckturbinen von je 250 PS. Nutzleistung mit Gleichstrom-Generatoren aufgestellt[1]).

Garvinsfall-Kraftanlage N. H. in Amerika. Die absolut geringste Abflußmenge des Flusses beträgt etwa 28 cbm/sek., aber nur ausnahmsweise ist der Abfluß kleiner als 37 cbm/sek. Dies ergibt eine rohe Kraft von 4300 PS. bei 8,7 m Gefällhöhe oder 3200 PS. am Schaltbrett, wenn, wie dies im vorliegenden Falle geschah, mit 80 v. H. Nutzwirkung der Turbine und 94 v. H. Nutzwirkung des Generators gerechnet wird. Nach früheren Wahrnehmungen konnte erwartet werden, daß der Fluß wenigstens 5000 eff. PS. während 9 Monaten im Jahre liefern wird und für einen großen Teil der Zeit mehr als dies. Die durchschnittliche Kraft für das ganze Jahr möchte bis 10000 PS. erreichen. Darnach wurde beschlossen, die Anlage für 6000 PS. eff. Turbinenstärke auszubauen[2]).

Luzern-Engelberg. Das Kraftwerk Luzern-Engelberg ist für den

1) Intze, Talsperrenanlagen. 1904.
2) Journal of the Association of Engineering Societies Okt. 1905.

ersten Ausbau mit 1,00 cbm sekundlicher Wasserführung vorgesehen. Dies ergibt bei einem reinen Nutzgefälle von 300 m (abzüglich der Verluste) und 75 v. H. Nutzwirkung der Turbinen $\frac{1000 \cdot 300 \cdot 0{,}75}{75} = 3000$ dauernde PS., an der Turbinenwelle gemessen. Mit Rücksicht auf die Wirkung des mit den hydraulischen Anlagen verbundenen Sammelweihers als Tagesakkumulator wurde das Kraftwerk vorläufig für eine Höchstleistung von 6000 PS. ausgebaut und eine Reserve von 2000 PS. hydraulisch und elektrisch eingerichtet (Abb. 167). Während rund 7 Monaten stehen aber wenigstens 2,5 sek./cbm Wasser zur Verfügung. Sobald für die übrigen 5 Monate eine Reserve geschaffen wird, können über 15000 zwölfstündige PS. für das ganze Jahr ausgenutzt werden. Auf diesen Umstand ist bereits bei den Abmessungen des Stollens, der Druckleitung und des Kraftwerkes Rücksicht genommen.

Zur weiteren Beurteilung der in ausgeführten Werken gewählten Maschinenstärke im Verhältnis zu dem vorhandenen Wasserabfluß sei auf die Tabellen 15 u. 16 verwiesen.

Für Maschinenstärken im Eisenbahnbetrieb sind die Mitteilungen der schweizerischen Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb von Interesse.

Diese Kommission hat sich im Mai 1904 mit dem notwendigen Kraftbedarf für den elektrischen Betrieb aller schweizerischen Bahnen beschäftigt und legte die Hauptbedeutung der Prüfung dieser Frage auf die Verwertung der heimischen Wasserkräfte, um die Bahnen von der Kohleneinfuhr aus dem Auslande frei zu machen. Eine kurze Mitteilung dieser interessanten Ergebnisse, soweit sie allgemeinere Bedeutung haben, mag darum hier am Platze sein.

Man hat gefunden, daß der notwendige Kraftbedarf für den höchstvorkommenden Sommerbedarf durch eine 24stündige Leistung von 125000 PS. in den Kraftwerken gedeckt werden kann. Im Winter sind 100000 PS. nötig. Dabei ist ein Wirkungsgrad für das Verhältnis zwischen der Nutzarbeit an den Triebrädern der Züge und der Arbeit der Turbinen im Kraftwerk von 40—45 v. H. in Rechnung gestellt. Der Rückgewinnung von Arbeit auf Gefällen wurde dabei nicht wesentliche Bedeutung beigelegt. Es ergab sich z. B., daß selbst bei Annahme sehr vollkommener Einrichtungen nur etwa $^1/_6$ Kraft von dem gesamten Arbeitsbedarf eines Sommertages zurückgewonnen werden könnte. Auf

sehr steil abfallenden Strecken kann sich dieser Gewinn wohl auf $^1/_3$ erhöhen, an flachen Hängen aber auch bis auf $^1/_8$ vermindern. Im allgemeinen wird der erzielte Rückgewinn nur als ein bescheidener angesehen.

Die Schwankungen des Leistungsbedarfes ergeben sich nach den auf genauer rechnerischer Grundlage und unter Anhalt an Fahrplänen angestellten Ermittlungen außerordentlich stark. Diesen Schwankungen muß die Leistung der Kraftanlagen angepaßt sein. Selbst wenn man sehr große Wasserkraftzentralen voraussetzte, fand man, daß die für die Maximalleistung bestimmten Einrichtungen so groß sein müssen, daß sie zeitweise rund das Fünffache der mittleren Leistung abgeben können. Für kleinere Bahnbetriebe kann dieses Verhältnis auf das Zehn- und Mehrfache steigen. Man folgerte daraus, daß der Ausgleich der Bedarfsschwankungen nicht lediglich durch Akkumulatoren erzielt werden könne. Vielmehr können nur solche Wasserkräfte in Betracht kommen, bei denen ein Ausgleich durch Seen oder Sammelbecken möglich ist. Wasserkräfte, deren Überschuß an Wasser über die mittlere Leistung unnütz ablaufen würde, müssen als unwirtschaftlich angesehen werden. Vor allem kommt hierbei die Erschließung hoher Gefälle in Erwägung, um die Aufspeicherungsräume möglichst klein und entsprechend möglichst billig in den Kosten zu halten. Hinsichtlich der notwendigen Maschinenstärke wird gefolgert, daß, um 100 000 PS. i. M. leisten zu können, rund $100\,000 \cdot 5 = 500\,000$ PS. Maschinenleistung in den Turbinen der Kraftwerke nötig wäre. Die Maschinen würden dann durchschnittlich nur $\frac{24}{5} = 4\,^4/_5$ Stunden am Tage voll ausgenutzt werden. Es ist ersichtlich, daß diese starken Schwankungen des Kraftbedarfs die Ausnutzung der Wasserkräfte und der maschinellen Anlagen in einem wirtschaftlich ungünstigen Lichte erscheinen lassen. Man folgerte daraus, daß man bei Ausnutzung der schweizerischen Wasserkräfte solche Anlagen, die sich für Bahnbetrieb eignen, d. h. bei denen sich Ausgleichsanlagen für den Wasserabfluß beschaffen lassen, in erster Linie für diesen staatlichen Zweck sicher zu stellen sein werden[1]).

Die Wassermotoren.

Es soll hier nicht auf die Einzelheiten der Wassermotoren eingegangen werden. Nur mag es angebracht erscheinen, einige allgemeine Gesichtspunkte zu erörtern.

1) Schweiz. Bauz. 1906 (20. 10.).

Die alten Wasserräder, die das Gewicht des Wassers ausnutzen, haben fast allgemein vor den neueren Turbinenkonstruktionen weichen

Abb. 139. Laufrad einer Francisturbine.

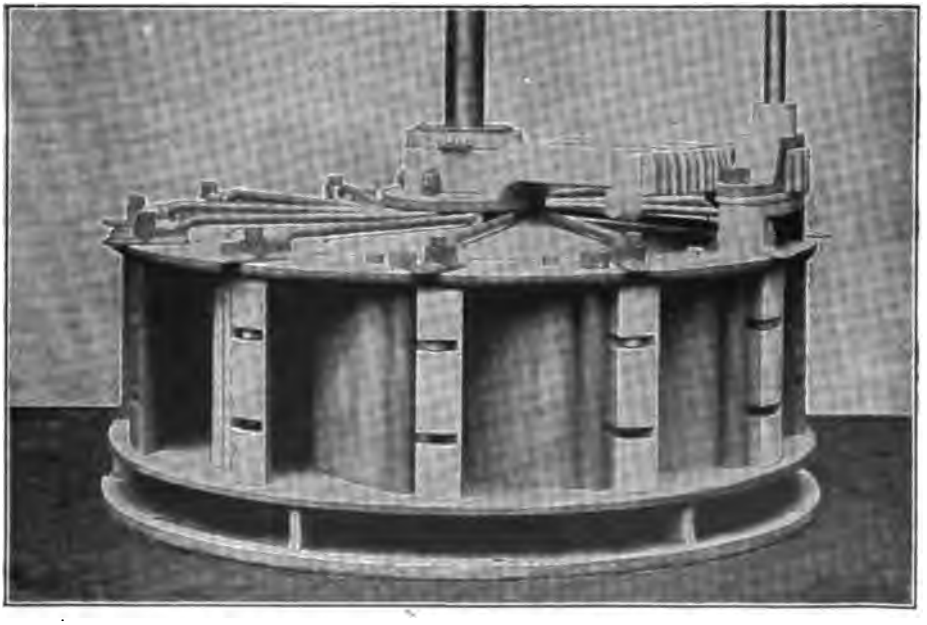


Abb. 140. Francisturbine mit senkrechter Welle für kleine und mittlere Gefälle in offenem Schacht bis etwa 10 m Gefällhöhe.

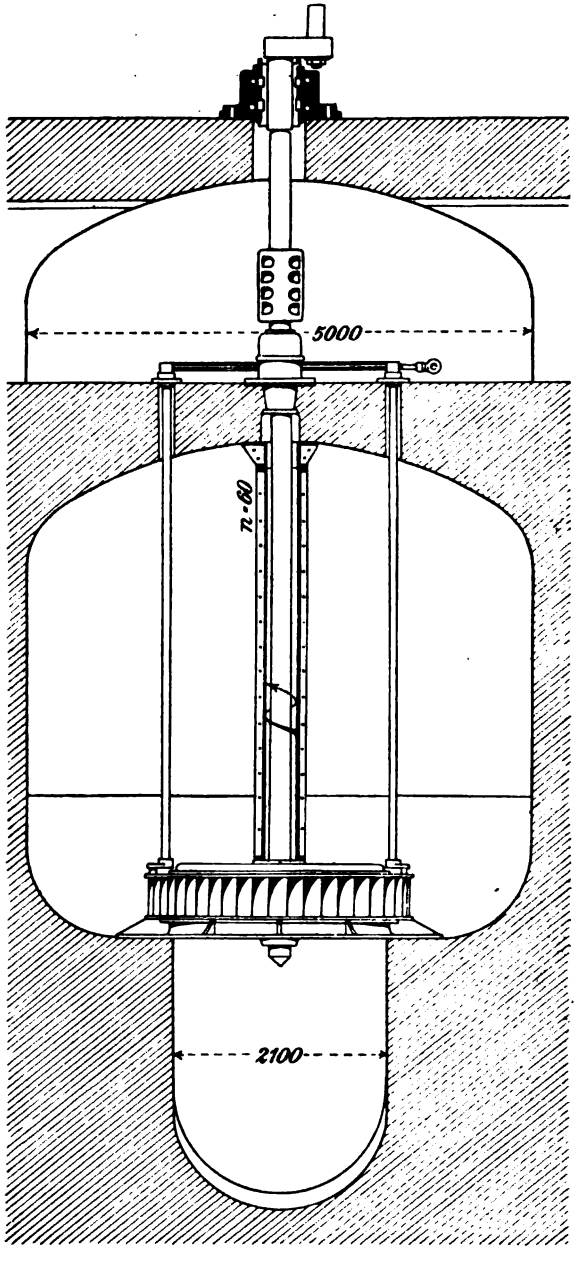


Abb. 141. Francisturbine mit senkrechter Welle (Radialturbine) für Pumpenbetrieb.
Wasserverbrauch 7,8 bis 9,3 cbm/sek. bei 3,5 bis 5 m Gef.
Mittlere Leistung 300 PS.
60 Umdrehungen in der Minute.
Unmittelbare Kupplung mit den Pumpen.

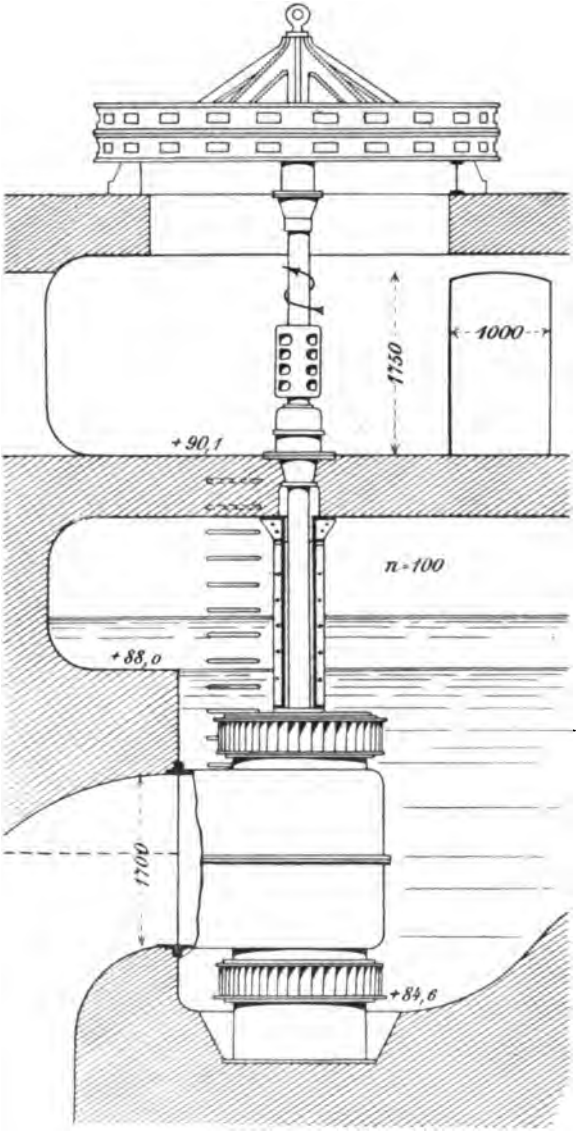


Abb. 142. Doppelfrancisturbine mit senkrechter Welle für Dynamobetrieb.

Wasserverbrauch 6,0 bis 7,1 cbm/sek. bei 3,5 bis 5 m Gef.
Mittlere Leistung 3000 PS.
100 Umdrehungen in der Minute.
Die Turbine trägt auf der verlängerten Welle die Dynamomaschine.

müssen. Der Größenunterschied zweier solcher Motoren von gleicher Leistungsfähigkeit ist ein außerordentlicher. Damit springt der Vorteil in die Augen, den die Turbinen hinsichtlich des Raumbedürfnisses haben. Die Wasserräder finden jedoch heute immer noch Verwendung für kleine Wassermengen, wo Turbinen nicht mehr am Platze sind, insbesondere für Mahl- und Sägemühlen.

Für die Wahl des Turbinensystems sind die gegebenen örtlichen Verhältnisse der Wasserkraftanlage, vor allem das Gefälle maßgebend. Die Grundanforderungen, welche an Wassermotoren gestellt werden,

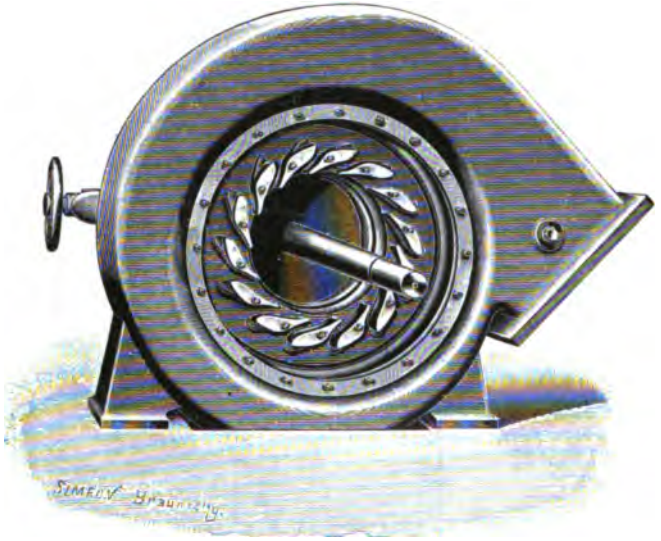


Abb. 143. Francisspiralturbine mit wagerechter Welle für Gefälle bis etwa 110 m (Leitraddeckel und Laufrad entfernt).

sind nach Camerer in kurzer Zusammenstellung die folgenden:

1. Sicherheit des Betriebes. Dazu gehört Einfachheit, kräftige Ausführung, leichte Bedienung und Auswechselung aller Teile. Bequeme Aufstellung der Turbine in beliebiger Lage. Großer Querschnitt zur Vermeidung des Verstopfens der Kanäle.

2. Hoher Wirkungsgrad für gleichbleibende Umdrehungszahl, auch bei wechselndem Gefälle und Wasserzufluß.

3. Leichte Regulierbarkeit.

4. Anpassungsfähigkeit an gewünschte Umdrehungszahlen.

Das vorteilhafteste Radsystem hängt im Einzelfalle weiterhin ab von

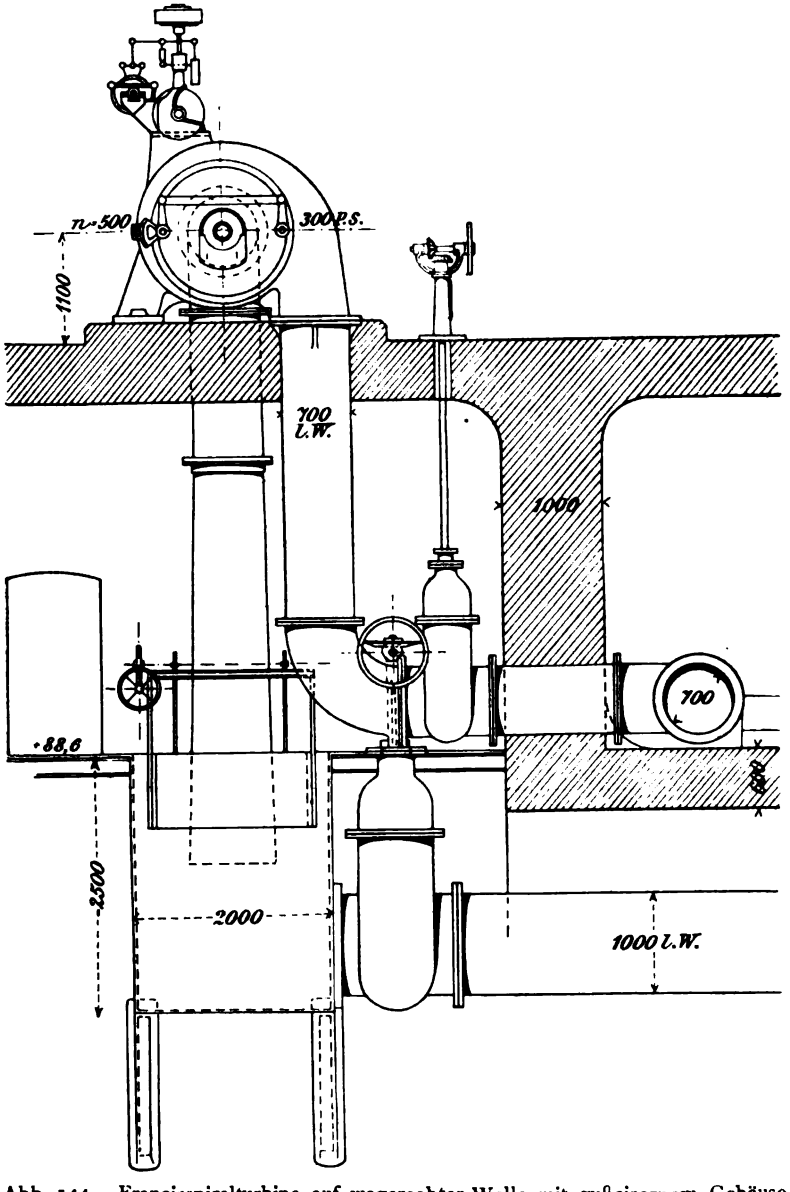


Abb. 144. Francisspiralturbine auf wagerechter Welle mit gußeisernem Gehäuse für Dynamobetrieb.

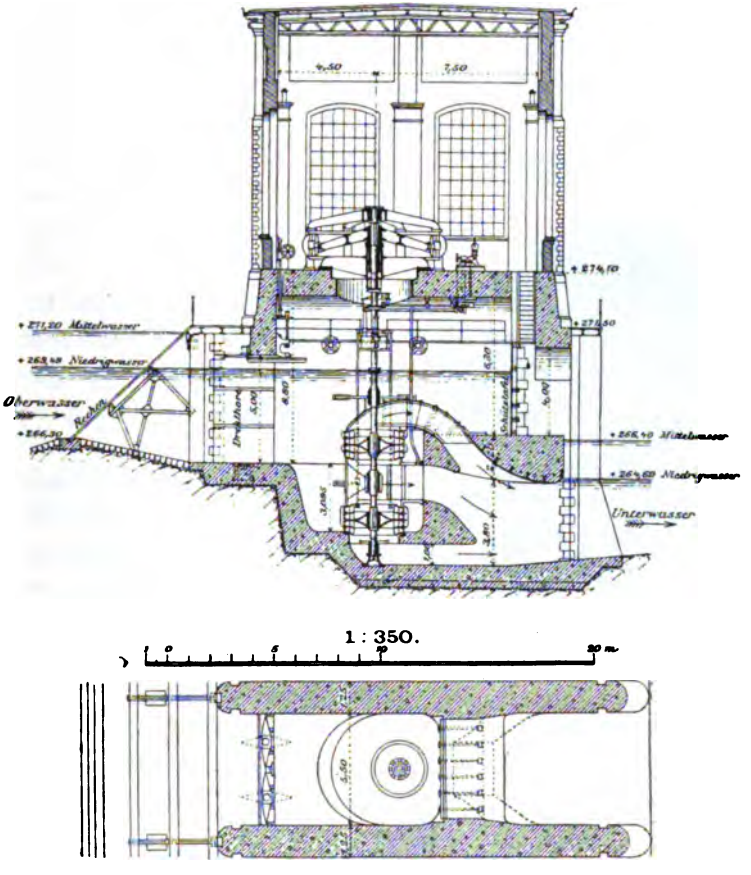
Wasserverbrauch 600 l/sek. bei 50 m Gef.
Mittlere Leistung 300 PS.
750 Umdrehungen in der Minute.
Auf der verlängerten Welle sitzt die Dynamomaschine.

der Wassermenge, der Wassergeschwindigkeit und der Art der Belastung. Die Frage, ob senkrechte oder wagerechte Typen verwendet werden sollen, bedarf — wo die Möglichkeit vorhanden ist, beide Arten einzu-

Abb. 145a. Doppel- oder Zwillings-Francisturbine mit senkrechter Spindel für Einbau im offenen Wasserkasten. Das von der oberen Turbine verbrauchte Betriebswasser wird durch das gekrümmte Saugrohr, das Betriebswasser der unteren Turbine durch das kurze gerade Saugrohr abgeführt.

bauen — der besonderen Erörterung und ist allgemein wohl nicht zu beantworten. Bei den Niagarakraftwerken sind beide Bauarten unter im allgemeinen gleichen Bedingungen gewählt worden. Senkrechte Wellen

geben einen günstigeren Arbeitsraum und erfordern weniger Grundfläche. Allerdings tritt dabei eine starke Belastung des Spurlagers ein. Die wagerechten Achsen ermöglichen eine gute Zugänglichkeit, sichere



Nach Zeitschr. f. Bauwesen.

Abb. 145 b. Turbinenanlage mit zwei Doppelturbinen (840 PS.) von 55 bis 68 Umdrehungen in der Minute. Zur Erhöhung der Umfangsgeschwindigkeit großer Durchmesser (6 m) des Generators. (Rheinfelden.)

Lagerung und günstigen Antrieb der Dynamos. Allgemein ist heute für kleine Gefälle, herab bis zu 0,5 m und steigend bis 100 und 110 m, die Francisturbine in Gebrauch (Abb. 139)[1]. Die Anlage geschieht

1) Abb. 139, 140, 143, 145 bis 147a nach Konstruktionen von Briegleb, Hansen & Co.

im offenen Schacht bis etwa 10 m Gefällhöhe (Abb. 140, 141 u. 142). Von dieser Höhe ab wird die Zuführung des Wassers in offener Leitung für die Gestaltung der Turbinenkanäle schwierig und man geht zur Druckleitung über. Das führt zur Anordnung der Francis-Spiralturbinen in geschlossenem Gehäuse (Abb. 143 u. 144). Auch bei niederen Gefällen kann dies wünschenswert sein, wenn es sich um die Zuführung des Kraftwassers auf einer größeren Strecke handelt, wie z. B. bei Kraftanlagen an den Schleusengefällen. An der Francisturbine wird neben der guten Ausnutzung von Wassermenge und Gefälle, d. h. neben einem guten Wirkungsgrad, der bis zu 87 v. H. gefunden ist, als ein besonderer Vorzug die hohe Regulierfähigkeit, die gute Zugänglichkeit und Betriebssicherheit aller Teile hervorgehoben. Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Maschine kann durch entsprechende Wahl des Durchmessers oder durch den Aufbau ein oder mehrerer Leit- und Laufräder auf einer Welle für den Bedarf gut eingerichtet werden, sei es für die langsamer gehenden Pumpen oder den Schnellbetrieb der Dynamos (Abb. 145a und b). Gleich gute Anpassungsfähigkeit besitzt das System an den Wechsel der Wassermengen.

Abb. 146. Peltonrad.

Bei neueren Anlagen findet man eine Zerlegung der Maschinenstärke auch auf wagerechter Welle, z. B. bei dem Kraftwerk des Chicago-Entwässerungskanals, wo 6 Räder auf gemeinsamer Achse eine Gesamtleistung von 6500 PS. erzeugen. Am Ende der Welle befindet sich der Generator. Die Maschinenanlage der Sillwerke hat zwei Peltonräder auf einer Welle mit dem Dynamo (2500 PS., s. Abb. 125). Man rühmt bei dieser Anordnung, daß sich für den Lichtbetrieb eine bessere Wirkung erzielen läßt und eine größere Sicherheit gegen Betriebsstörungen erreicht wird.

Zum Anhalt für die Beurteilung des Wirkungsgrades bei verschiedenen Belastungen seien folgende Versuchsergebnisse mitgeteilt (Tab. 21 und 22).

Tabelle 21. Versuche von Pfarr 1903 in der Fabrik von Briegleb, Hansen & Co., Gotha[1]).

Turbinenumlauf 201,5 in der Minute.
Gefälle 1,95 m.

Es war

Wassermenge (Beaufschlagung)	Leistung PS.	Festgestellte Nutzwirkung
voll (435 l/sek.)	8,48	0,751
0,9	8,20	0,803
0,8	7,56	0,834
0,7	6,48	0,817
0,6	5,36	0,782
0,5 (~ 225 l/sek.)	4,21	0,738

Die Messungen erfolgten mittels Bremsapparat. Turbinensystem: Radialturbine mit achsialem Wasseraustritt. Drehbare Leitschaufeln nach dem Finkschen Regulierungsprinzip (Francis-System).

Tabelle 22. Versuchsergebnisse mit einer neuen, für die Shawinigan-Kraftgesellschaft hergestellten Turbine von 10500 PS. Leistungsfähigkeit (Francisturbine)[2]).

Leistung PS.	Wirkungsgrad v. H.
11 270	84,70
10 500 (vertragliche Leistung)	86,25 (gewährleistet 78 v. H.)
9 735	87,3
9 000	86,5
7 500	84,5
6 000	83,0
3 000	73,5

Für Gefälle über 100 m sind in der Hauptsache Peltonräder (Tangentialräder) in Gebrauch (Abb. 146 u. 147a u. b); ihre Nutzwirkung wird zu 80 bis 85 v. H. angegeben und ist besonders vorteilhaft für sehr hohe Gefälle. Die Leistungsfähigkeit der Peltonräder läßt sich dem Wechsel der Wassermenge und den Schwankungen des Kraftbedarfs ebenfalls gut anpassen. Als ein besonderer Vorzug wird betont, daß man diese Motoren für die kleinsten Leistungen bis herab zu $^1/_{40}$ PS. mit günstiger Wirkung anwenden kann. Doch sind auch Krafteinheiten von mehr als 10000 PS. ausgeführt. Die Konstruktion des Rades ist einfach, zu-

1) Z. d. Ver. deutsch. Ing. 1903 Nr. 18.
2) Z. f. d. ges. Turb. 1906 S. 536.

gänglich und leicht ausbesserungsfähig. Für das Werk von Vallecito am Stanislaus-Fluß in Kalifornien sind nach neueren Nachrichten Peltonräder von 12 000 PS. Leistung geplant. Das Gefälle beträgt hier 427 m[1]).

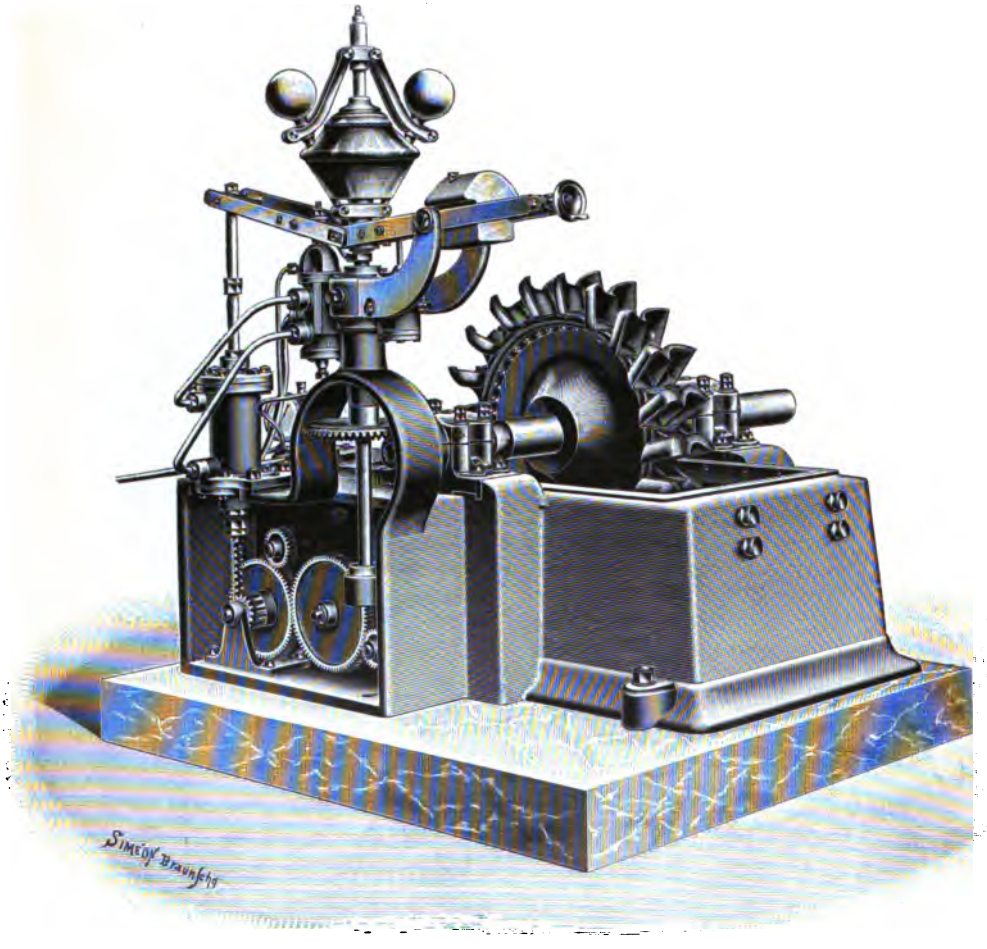


Abb. 147a. Peltonturbine mit hydraulischem Regulator.

Die Wahl hat sich damit außerordentlich vereinfacht, daß sich in der Praxis diese beiden angegebenen Systeme als in erster Linie gebrauchsfähig herausgebildet haben, wiewohl auch andere Bauarten, wie

1) Min. et Compte Rendu des Trav. d. la Soc. d. Ing. Civ. d. France 1907 S. 490.

die Girard- und Schwamkrugturbinen u. a. vorkommen (Abb. 148). Im ganzen ist der Wirkungsgrad der verschiedenen Systeme bei guter, dem Zwecke entsprechender Ausführung nicht wesentlich verschieden. Wenn zwar für die vorläufigen Ermittlungen beim Entwurf des Kraftgebäudes und die Frage nach dem Raumbedarf der Maschinen ausgeführte Anlagen guten Anhalt bieten, so mögen immerhin auch die Untersuchungen

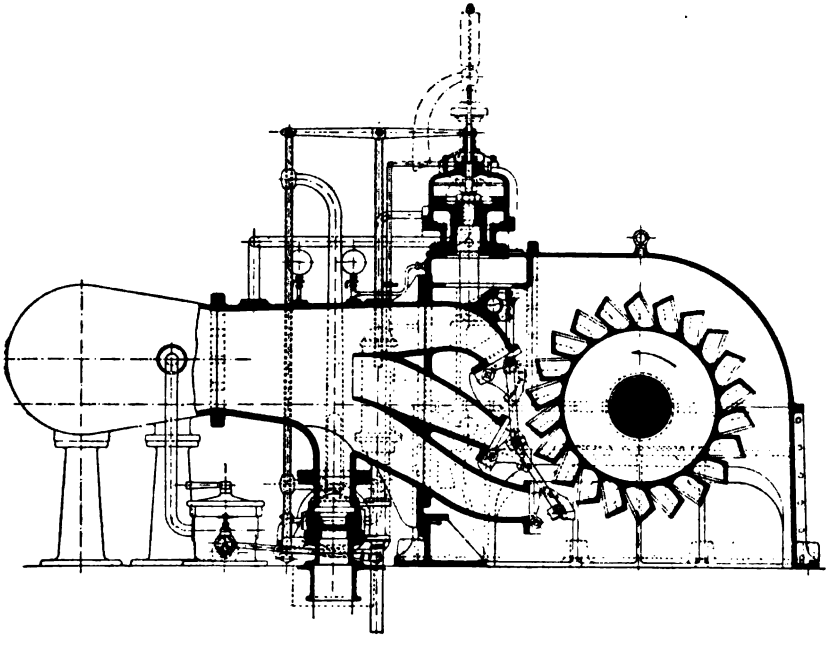


Abb. 147b. Löffelradturbine mit 3 Einläufen und selbsttätiger Regulierung für das Elektrizitätswerk Kubel (Schweiz).

Nutzgefälle 83 bis 92 m, je nach dem Wasserstand im Stauweiher. Leistung 1000 PS.

von Baashuus in Elektr. Zeitschr. 1905, S. 961 hierbei Dienste leisten, auf die hier jedoch nicht näher eingegangen werden kann.

Es sei noch bemerkt, daß die Herstellung der Turbinen in den Fabriken vielfach nach feststehenden Sätzen erfolgt, die ohne Bestellung auf Vorrat angefertigt werden. Dieser Bau nach Normalien ist besonders in Amerika üblich, die deutsche Industrie ist diesem Schematismus noch weniger geneigt. Naturgemäß kann der beste Wirkungsgrad der Maschinen erzielt werden, wenn sie den besonderen Bedingungen des

Einzelfalles angepaßt werden, anstatt daß man ein »Standard«-Modell wählt. Die Dauer der Räder kann gesteigert werden durch Verwendung zweckentsprechenden Materials und die Reinigung des Betriebswassers.

Der Grund für die Normalisierung liegt zum Teil in den teuren Arbeitslöhnen. Maschinen, die den besonderen Verhältnissen angepaßt werden

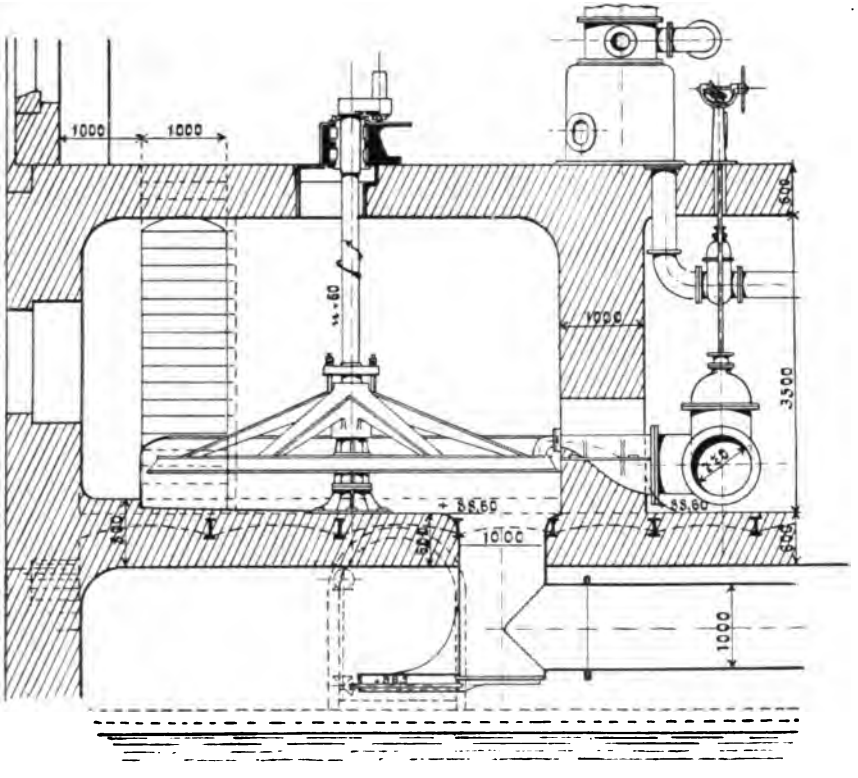


Abb. 148. Girardpartialturbine auf senkrechter Welle (Axialturbine) für Pumpenbetrieb.
Wasserverbrauch 600 l/sek. bei 50 m Gef.
Mittlere Leistung 300 PS.
60 Umdrehungen in der Minute.
Die Pumpen sind an die verlängerte Turbinenwelle unmittelbar angeschlossen.
Das Turbinenlaufrad wirkt gleichzeitig als Schwungrad.

müssen, werden teurer sein als solche, die für ein großes Vorratslager als laufende Marktware hergestellt werden. Der Amerikaner sucht sein Unternehmen so gut und so schnell als möglich ertragsfähig zu machen. Daher sollen die Anlagekosten möglichst klein sein. Wenn dann die

Rentabilität gesichert ist, geht man an Verbesserungen und Vergrößerungen heran[1]).

Man wird diesem Grundsatz nicht jede Berechtigung absprechen können, zumal unter amerikanischen Verhältnissen, wo Wasserkraftwerke oft unter schwierigen und kostspieligen Umständen errichtet werden müssen. Man wird aber diese Sachlage nicht ohne weiteres mit den kulturellen Zuständen unserer europäischen Gebirgstäler vergleichen dürfen, wo eine solidere Bauweise vorgezogen wird und sicherlich auch mehr am Platze ist. Je mehr Amerika aber aus den ursprünglichen Zuständen hervortritt, um so mehr scheint es, daß das Bestreben nach Spezialisierung und Individualisierung auch in der dortigen Bauweise Platz greift. Diese Erkenntnis der amerikanischen Ingenieure hat dazu geführt, daß von Amerika her dem europäischen Turbinenbau viele Aufträge zuteil geworden sind.

Wie durch Wassermangel in trockner Zeit, so kommen Triebwerke an offnen Flußläufen auch bei Hochwasser in die Gefahr, Unterbrechungen zu erleiden infolge der Ausgleichung des Gefälles an den Staustufen. Ebenso können wechselnde Gefällhöhen in den verschiedenen Jahreszeiten — Sommer- und Winterwasserstand — den gleichmäßigen Gang des Werkes beeinträchtigen. Dieser Umstand erfordert die ernste Beachtung des konstruierenden Ingenieurs, denn er ist für die Kraftleistung und den wirtschaftlichen Wert einer Anlage von Bedeutung.

Man hat in verschiedener Weise versucht, dem Nachteil der Gefällwechsel entgegen zu wirken. Man kann den Oberwasserspiegel durch bewegliche Wehr- oder Schützeneinrichtungen höher anspannen, so daß sich seine Höhe mit dem Anwachsen des Unterwassers entsprechend hebt. Derartige Anordnungen sind in Amerika ausgeführt worden[2]). Aber eine wesentliche Stauung des Oberwassers wird mit Rücksicht auf die landwirtschaftliche Nutzung der angrenzenden Ländereien, besonders in unseren dicht bevölkerten Tälern, selten angängig sein. Ein anderes Mittel — der Einbau von Turbinen, die unter den Gefälländerungen mit günstiger Nutzwirkung arbeiten — liegt darum näher. Hierfür bietet ein Beispiel die Kraftanlage von Chèvres, deren Gefälle im Sommer 4,3 m, im Winter aber 8,5 m beträgt. In Abb. 126 ist das Turbinensystem dieses

1) Schweiz. Bauz. 1907 S. 23.

2) Kraftwerke zu Rockhill (Süd-Karolina) und am Great Fall (Potomac-Fluß) s. Hydraulic Developments, Journ. of the West. Soc. of Eng. Mai-Juni 1903.

Werkes im Schnitt dargestellt (s. auch Abb. 178). Es sind 2 Turbinen auf einer senkrechten Welle aufgebaut. Das untere Rad ist vor allem für den Winterbetrieb vorgesehen und leistet 1200 PS. Die obere Maschine von 800 PS. arbeitet bei dem kleineren Sommergefälle. Es ist durch diese Konstruktion trotz des starken Gefällwechsels eine annähernd gleichbleibende Kraftleistung und Umdrehungsgeschwindigkeit erreicht worden[1]).

Regulierung der Turbinen. Man muß den Unterschied beachten, der in der Aufgabe des Maschineningenieurs, der Dampfmaschinen baut, und der des hydraulischen Ingenieurs liegt. In einer Dampfmaschine ist der Dampfdruck meist ein streng festgelegter. In den Wasserkraftanlagen hingegen wechselt nicht nur stark das Nutzgefälle, sondern auch die zur Verfügung stehende Betriebswassermenge. Der Einfluß des wechselnden Gefälles ist besonders von Bedeutung in den Niederdruckanlagen. Dann ist zu beachten: der Dampf ist elastisch, das Wasser ist unelastisch: dieser Umstand beeinflußt nicht unwesentlich die Sicherungseinrichtungen an den Druckrohrleitungen und Turbinen. Dieser Aufgabe steht der Ingenieur gegenüber. Er soll eine gute Nutzwirkung und eine gleichbleibende Kraft wahren unter den wechselnden Grundlagen der Kraftleistung. Aber noch darüber hinaus sollen seine Maschinen in allen Fällen auch eine möglichst gleichbleibende Umdrehungszahl haben, denn davon hängt die Gleichmäßigkeit des Arbeitsbetriebes ab, besonders erfordert dies der elektrische Lichtbetrieb. Hieraus ergibt sich die große Bedeutung, die eine richtige Reguliereinrichtung in dem Betriebe der Maschinen wie des Gesamtbetriebes einer modernen Wasserkraftzentrale, vor allem eine richtig gestaltete Bewegung der Abschlußschieber, sowie ihre Regulierung nach Zeit und Zuflußmenge besitzt, s. Eng. Rec. v. 30. 6. 1906.

Hinsichtlich der Anforderungen, die demgemäß zur Erzielung gleichförmiger Bewegung gestellt werden müssen, sei kurz bemerkt, daß nach Camerer die Regulierung der Turbinen zwei verschiedenen Bedürfnissen zu begegnen hat: Einmal soll die Turbine dem wechselnden Wasserzufluß angepaßt werden, so daß Gefälle und Umdrehungszahl erhalten und der Wirkungsgrad jederzeit möglichst hoch bleibt. Diese Regulierung geschieht meist von Hand; man hat sie aber auch selbsttätig durch Schwimmer im Oberwasserspiegel in Bewegung gesetzt.

1) Über die Ausnutzung von Hochwasser bei Wasserkraftanlagen nach Untersuchungen am Kraftwerk von Chèvres an der Rhone s. Z. d. V. deutsch. Ing. 1906 S. 1821.

In zweiter Linie soll bei schwankender Belastung die Umdrehungszahl des Motors möglichst gleich erhalten bleiben. Das geschieht durch automatische Regulatoren[1]).

Über die Bedeutung der Abnahmeversuche und Turbinenbremsungen bemerkt Camerer: Man muß sich vor allem über den Genauigkeitsbereich solcher Versuche, bei denen zur Wassermessung meist der Woltmannsche Flügel benutzt werden muß, Rechenschaft geben. Bei ihnen kann die Wassermenge unter günstigen Verhältnissen höchstens auf 1 bis 2 v. H., bei ungünstigen Verhältnissen vielleicht nur auf 5 v. H. genau bestimmt werden. Schätzt man weiter die Summe der Fehler bei Messung von Gefälle, mechanischer oder elektrischer Bremsung auf fernere 1 bis 2 v. H., so ergibt sich die Genauigkeitsgrenze innerhalb 2 bis 7 v. H. für besonders günstige oder weniger günstige Verhältnisse. Auch bei der sonst genaueren Wassermessung durch Überfall können sich leicht Fehler bis über 10 v. H. einschleichen[2]).

Nebenanlagen.

Das Kraftwerk bedarf neben dem eigentlichen Raume für die Unterbringung der Maschinen noch Platz für mancherlei Nebeneinrichtungen, die eine von der Größe des Unternehmens abhängige Ausbildung erfahren müssen. Die Schaltanlage für die Verteilung des elektrischen Stromes wird bei kleineren Werken in einem Abteil des Maschinenraumes Unterkunft finden können. Bei großen Kraftgebäuden werden dafür wie auch für die Transformatoren, Akkumulatoren, für Blitzschutzeinrichtungen u. a. m. besondere Räume geschaffen werden müssen. Eine Werkstätte für laufende Ausbesserungsarbeiten, Bureau- und Arbeiterräume, Lagerkeller für Öl und Schmiermaterialien und für Reserveteile der Fernleitung, Abort- und Waschräume für das Personal usw. werden nicht entbehrt werden können. Bei der Abgelegenheit der meisten Wasserkraftwerke wird man auch darauf Bedacht nehmen müssen, Wohnräume für den Maschinisten und seine Hilfskräfte zu schaffen (s. Abb. 78).

In Pumpwerken sind Einrichtungen zu treffen für die Messung der

1) Weiteres s. u. a. Pfarr, Die Turbinen für Wasserkraftbetrieb, Müller, Die Francisturbine u. a. m.

2) Über die Messung der hydraulischen und elektrischen Arbeit an den Turbinen und Dynamos des Kraftwerkes Kardaun (Tirol) s. Zeitschr. f. d. ges. Turb. 1907 S. 169. Über Bremsversuche s. auch Müller, Die Francisturbine.

geförderten Wassermengen und Wasserstandsanzeiger und im Falle Fernmelder für entlegene Beobachtungspunkte aufzustellen. Für elektrische Werke bedarf es einer Reihe von Meßapparaten zur Feststellung der erzeugten und abgegebenen Energie. In diesen Gebäuden wird die Beleuchtung zweckmäßig von Akkumulatorenbatterien besorgt, um Gewähr für die Fortdauer der Beleuchtung zu haben für den Fall, daß an den Generatoren und Turbinen Betriebsstörungen eintreten. Die Heizung der Räume muß vorgesehen werden.

In größeren Anlagen wird ein Laufkran zur bequemen Förderung schwerer Maschinenstücke gebraucht werden.

Die unten beschriebenen Gesamtanordnungen geben über die baulichen Einrichtungen aller dieser Nebenanlagen einigen Aufschluß.

Architektur.

Der Kostenersparnis halber muß das Äußere der Kraftwerke im allgemeinen einfach gehalten werden. Auch die Abgelegenheit dieser Werke in einsamen Gebirgstälern läßt es meist angängig erscheinen, sich auf einen Mindestaufwand architektonischen Schmuckes zu beschränken. Besonders stechen in dieser Richtung amerikanische Anlagen hervor mit ihrer dürftigen, lediglich auf die Nutzbarmachung der Energie gerichteten Ausgestaltung. Man erkennt, wie bei diesen oft nur vorläufig hergerichteten Gebäuden der Zweck nackt an den Tag gelegt ist. Nicht so weit geht man bei uns. Man sieht hier mehr auf Gefälligkeit des Äußeren und man kann beobachten, wie mitunter gerade eine peinliche Sorgfalt auf den inneren Ausbau und die Schaffung eines geräumigen, reinlichen, hellen und ansprechenden Raumes Gewicht gelegt wird. Vielfach hat man — z. B. bei Kraftwerken, die in Verbindung mit Talsperren und in deren Nähe errichtet sind — darauf Aufmerksamkeit verwendet, die Architektur dieser Gebäude nach Möglichkeit der Wirkung der gewaltigen Massen der hohen Sperrmauern anzupassen, um einen guten Gesamteindruck zu erzielen. Für die Ansicht wählt man vielfach Natursteine. Die Mauersteine werden sichtbar gelassen und nur die Fugen ausgestrichen (Luzern-Engelberg). Einiger Schmuck durch massige ornamentale Wappen oder sonstige heraldische Zeichen wird wesentlich zur Charakterisierung des Bauwerks beitragen.

Aus den Abb. 149 u. 153 ist die Art der Architektur einiger neuerer Wasserkraftwerke ersichtlich.

Abb. 149. Das Gebäude des Elektrizitätswerkes Luzern-Engelberg in Obermatt. Hochdruckanlage für 16000 PS. Leistung (bei vollem Ausbau).

Abb. 150. Das Krafthaus des Elektrizitätswerkes Kubel (Schweiz). Hochdruckanlage für 5000 PS. Leistung. Unterbau in Beton auf Felsgründung, Hochbau in Ziegelmauerwerk.

Bei der Architektur des Kraftgebäudes Luzern-Engelberg (Abb. 149) war für die Gestaltung des Äußeren maßgebend die Erreichung einer guten Beleuchtung

Abb. 151. Das Kraftgebäude von Livet (Isère)
mit Nebengebäuden für elektrochemischen Betrieb, Werkstätten usw.
Hochdruckanlage für 10000 PS. Leistung.

Abb. 152. Das Kraftgebäude für das Elektrizitätswerk in Gersthofen am Lech.
Niederdruckanlage für 7500 PS.
Der Unterbau ist in Beton hergestellt, der Aufbau in Ziegelmauerwerk.
Neben dem Kraftwerk elektrochemische Anlagen, Beamten- und Arbeiterkolonien, die im Zusammenhange mit der Wasserkraftnutzung entstanden sind.

des Schaltraumes im Erdgeschoß und im I. Stock. Es sind denn auch die großen Fenster möglichst hoch hinaufgezogen, damit das Licht durch den Maschinensaal den inneren Teil des Schaltraumes erreichen kann.

a. Ansicht von Oberwasser.

b. Ansicht von Unterwasser.

Abb. 153a u. b. Das Kraftwerk La Coulonvrenière an der Rhone in Genf für Wasserhebung.

Niederdruckanlage von 3800 PS. Leistung. Unterbau in Beton, Aufbau in Ziegelmauerwerk. Das Gebäude wurde einfach gehalten, aber man war nichtsdestoweniger bestrebt, ihm ein architektonisches Gepräge zu geben, das der Bedeutung der Anlage entspricht.

Der Verputz wurde auf den Sockel beschränkt; an der übrigen Fassade sind die Mauersteine sichtbar gelassen und nur die Fugen ausgestrichen worden. Den einzigen Schmuck der Ansicht bilden die Wappen der Stadt Luzern und des Halbkantons Obwalden auf Glas[1].

Gesamtanordnungen.

Es mögen hier zur Ergänzung vorstehender Ausführungen noch kurze Mitteilungen über die Gesamtanordnung der inneren Einrichtung einiger neuerer Wasserkraftwerke folgen.

Das Talsperrenkraftwerk der Stadt Nordhausen a. H. Das Kraftgebäude

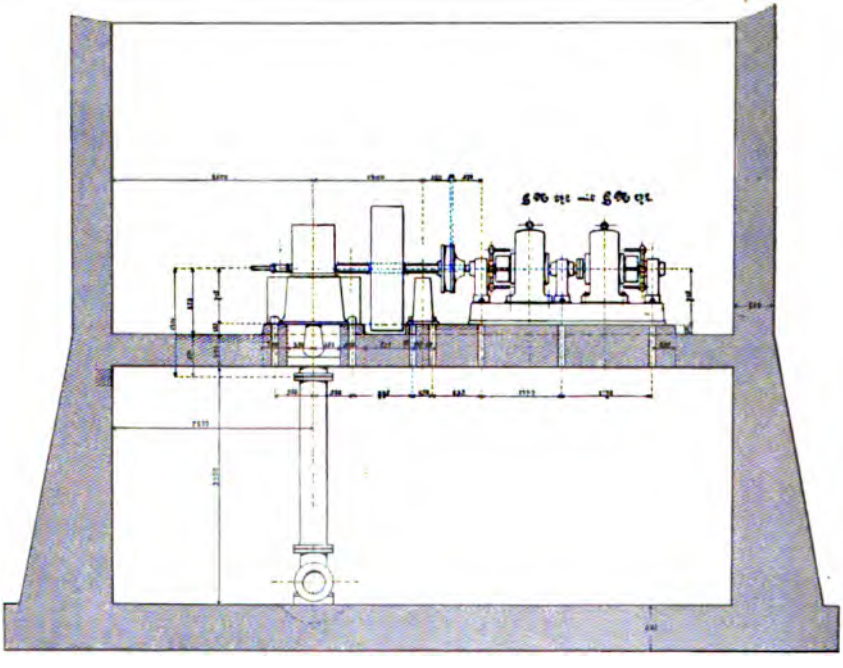


Abb. 154. Längsschnitt durch das Talsperrenkraftwerk der Stadt Nordhausen a/H.

(Abb. 154 bis 156) ist in unmittelbarer Nähe des Hochbehälters in einem Villenviertel auf einem Bergkegel, etwa 30 bis 40 m über der Stadtlage errichtet, und es überrascht, in solcher Lage ein Wasserkraftwerk arbeiten zu sehen. Die Fußbodenhöhe ist so gewählt, daß die spätere Einschaltung einer Filteranlage zwischen Kraftwerk und dem Hochbehälter erfolgen kann, wofür ein Höhenspielraum von 3 m vorbehalten ist. Der Maschinenraum befindet sich auf einem Unterbau aus Beton, der als Reinwasserbehälter ausgebildet ist. Die Decke, auf der die Maschinen stehen, ist in Eisenbeton ausgeführt. Das Zuführungsrohr der Druckleitung ist in der Umfassungsmauer eingemauert und steigt über dem Peltonrad senkrecht auf unter einem Winkel von 90°. Man hat diese Anordnung

1) Schweiz. Bauz 1906.

der scharfen Abbiegung bei vielen neueren Hochdruckwerken getroffen und Bedenken dagegen sind nicht begründet. Der einseitige Druck in der Krümmung ist durch entsprechende Lagerung des Rohres aufgenommen. Undichtigkeiten werden nicht entstehen, wenn dabei, wie hier geschehen, Flanschenrohre im Innern des Gebäudes Verwendung finden. Zum Messen der Wassermengen, die aus dem Peltonrade ausströmen und nach dem Hochbehälter fließen, ist in dem Behälter ein Überlauf eingebaut. Ein selbsttätig arbeitender Pegel zeichnet die Strahldicke auf. Durch einige Scheidewände und Kammern in diesem Raume wird erzielt, daß das sprudelnde Abwasser der Turbine in gleichmäßigem Laufe über die Überlaufkante von 1,00 Breite fließt, so daß hinreichend

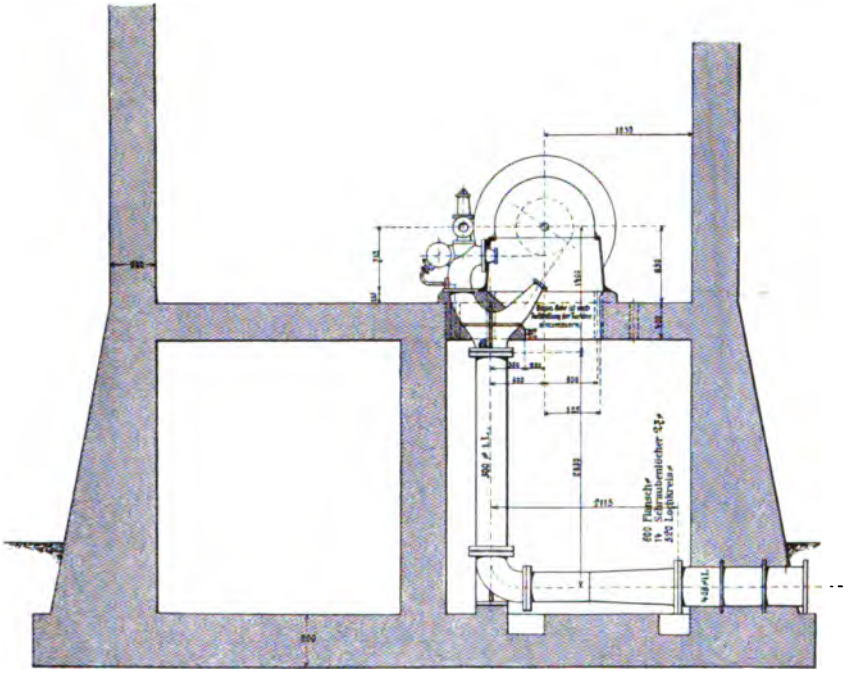


Abb. 155. Querschnitt *A—B* (s. Abb. 156) durch das Talsperrenkraftwerk der Stadt Nordhausen.

genaue Meßergebnisse gewonnen werden können. Der Aufbau des Gebäudes ist in Ziegelmauerwerk mit äußerem Putz ausgeführt, das Dach mit Pfannen eingedeckt. Ein Laufkran im Innern der Maschinenhalle dient zum Aufnehmen und Fördern schwerer Maschinenteile. In dieser Halle sind auch die neben den Maschinen notwendigen hydraulischen und elektrischen Meßeinrichtungen untergebracht.

In dem Kraftwerk findet die Umsetzung der Wasserkraft in elektrische Energie und die Überleitung nach einem der Elektrizitäts-Aktien-Gesellschaft vorm. Schuckert gehörigen Werke im Stadtbezirk statt. Die Dampfanlage dieses Werkes bildet somit eine Reserve für die Wasserkraft bei Betriebsstörungen und dieser Umstand hatte Einfluß auf den Ausbau des Kraftwerkes. Für die Kraftleistung stehen in trockenster Zeit 50 l/sek., ent-

sprechend einem Trinkwasserverbrauch der Stadt Nordhausen von 4320 cbm am Tage, in gleichmäßigem Tag- und Nachtbetrieb mit einer Druckhöhe von 192 m vom Stauspiegel des gefüllten Beckens bis zur Turbine zur Verfügung. Insoweit der Bedarf des Wasserwerkes sich mit der in der Turbinenanlage verarbeiteten Wassermenge nicht deckt, findet in einem Umleitungsrohre eine entsprechende Ableitung des Wassers statt, um die Trink-

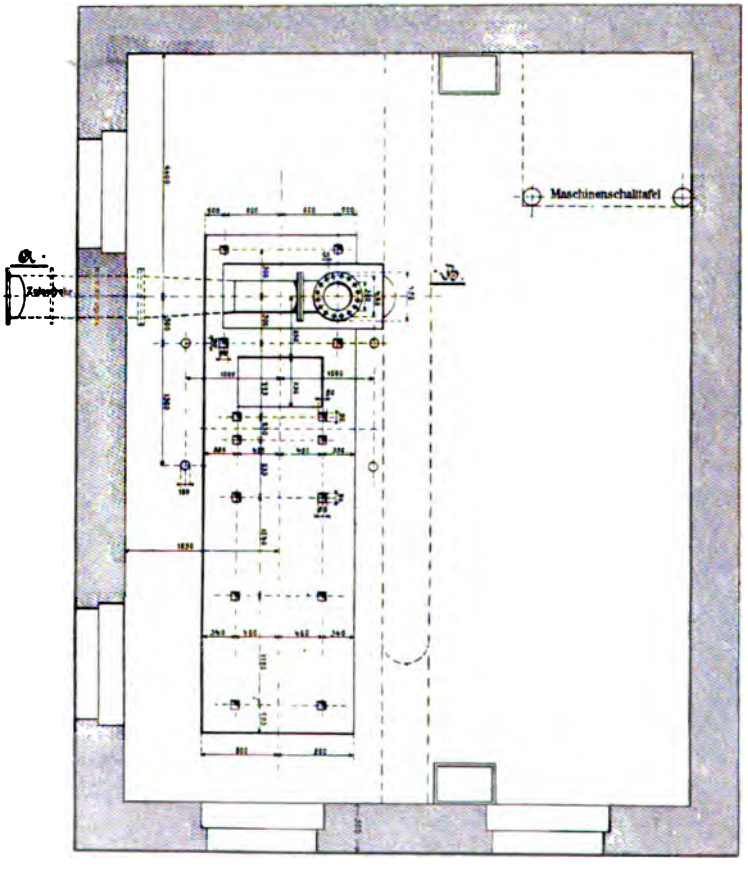


Abb. 156. Grundriß des Kraftgebäudes für das Talsperren-Elektrizitätswerk der Stadt Nordhausen a/H.

wasserversorgung unter allen Umständen sicher zu stellen. Von der 50 l/sek. übersteigenden Wassermenge ist die Stadt außerdem berechtigt, bis zu 6 l/sek. im Jahresdurchschnitt für anderweitige Zwecke zu entnehmen, bevor sie die Turbine passiert haben (s. Betriebsplan S. 106).

In wasserreicher Zeit kann eine größere Kraftwassermenge als 50 l/sek. entnommen werden, soweit der Betrieb der Trinkwasserversorgung dies zuläßt. Das im Kraftgebäude

aufgestellte Peltonrad (Abb. 157 u. 158)[1]) hat deswegen eine Aufnahmefähigkeit von 100 l/sek. erhalten und leistet bei einer mittleren Druckhöhe von 178 m rd. 170 PS. Der Wasserzufluß ist in sorgfältigster Weise reguliert (s. S. 217), um zu starke Beanspruchung der Rohrleitung und Unregelmäßigkeiten im elektrischen Betriebe zu vermeiden, derart, daß die Schwankungen in der Geschwindigkeit nicht mehr als etwa $2^1/_2$ v. H. betragen.

Im Wasserkraftwerk sind 2 Gleichstromdynamos aufgestellt, die je bei 750 Umdrehungen in der Minute 55 Kilowatt leisten. Sie stehen auf gemeinschaftlicher Grundplatte und sind mit dem Peltonrade auf gleicher Welle unmittelbar gekuppelt.

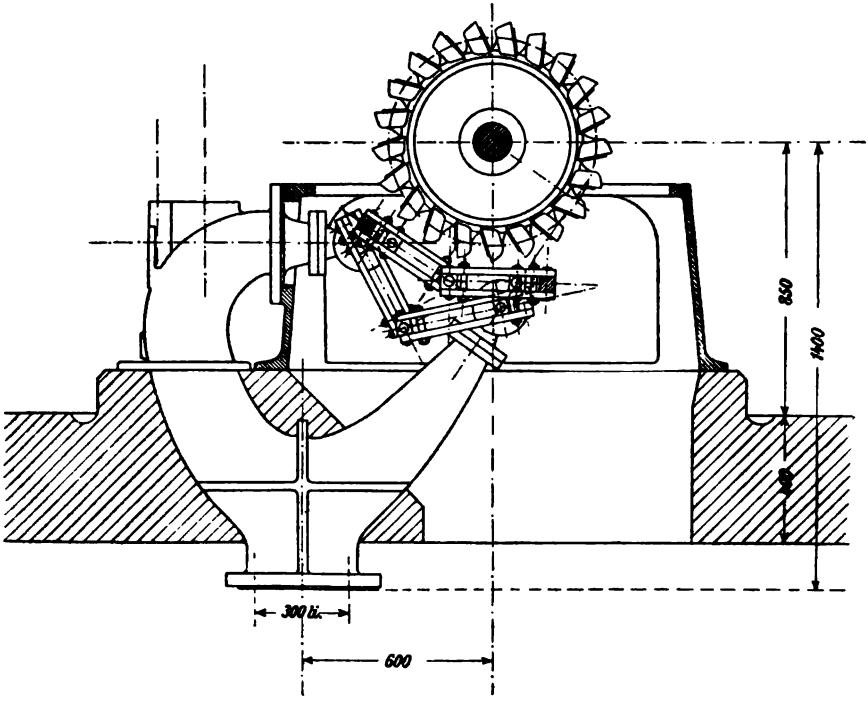


Abb. 157. Peltonturbine für das Talsperrenkraftwerk der Stadt Nordhausen a/H.
Wasserverbrauch 50 bis 100 l/sek.
Maximale Leistung 170 PS. bei 178 m Nutzdruck; höchstes ruhendes Gefälle 192 m.
750 Umdrehungen in der Minute.

Die Übertragungsstrecke nach der Zentrale, die mit Gleichstrom arbeitet, ist ~ 1,5 km lang. Für diese kurze Entfernung schien zweckmäßiger die Fernleitung der Energie in Form von Gleichstrom in unmittelbarer Gebrauchsspannung als mittels hochgespannten Drehstroms erfolgen zu lassen (s. S. 329).

Die Dynamos sind je durch eine besondere Kabelleitung mit der Zentrale in der Stadt

1) Nach Konstruktion von Briegleb, Hansen u. Co.

verbunden, so daß es möglich ist, die Wasserkraft für Licht- und Bahnzwecke gleichmäßig zu verwerten.

Der Leitungsquerschnitt beträgt 95 mm für Licht- und 70 mm für Bahnstrom. Der Prüfdraht des Bahnkabels wird gleichzeitig für Fernsprechzwecke benutzt.

Die Zentrale in der Stadt besitzt eine Maschinenleistung von 420 K.W. Mit diesem

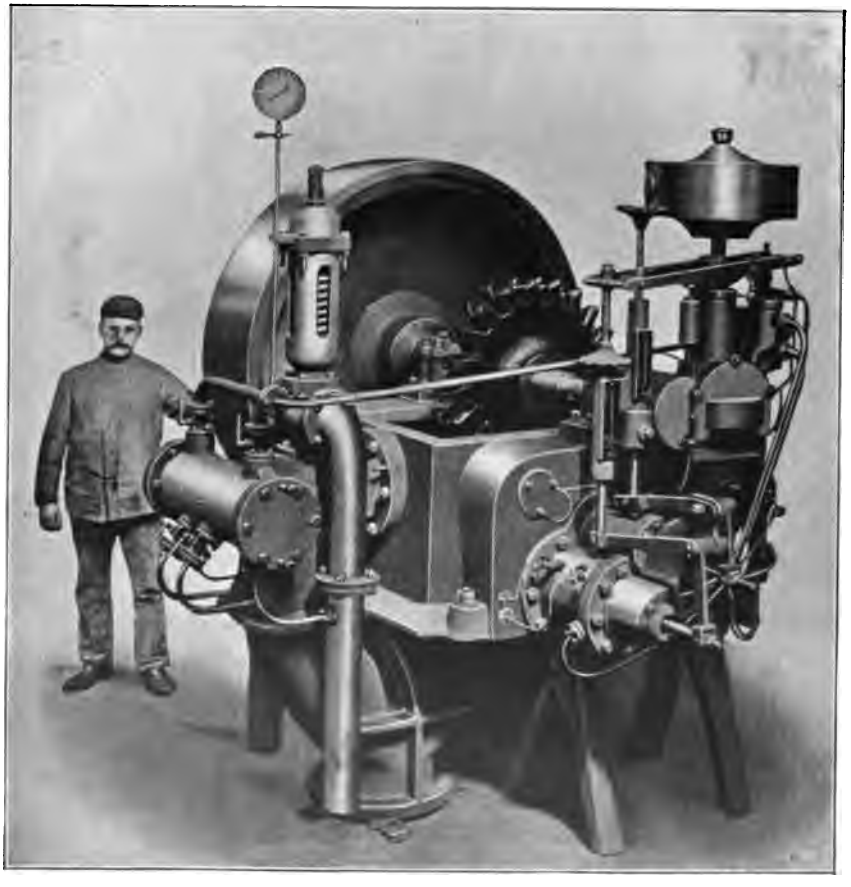


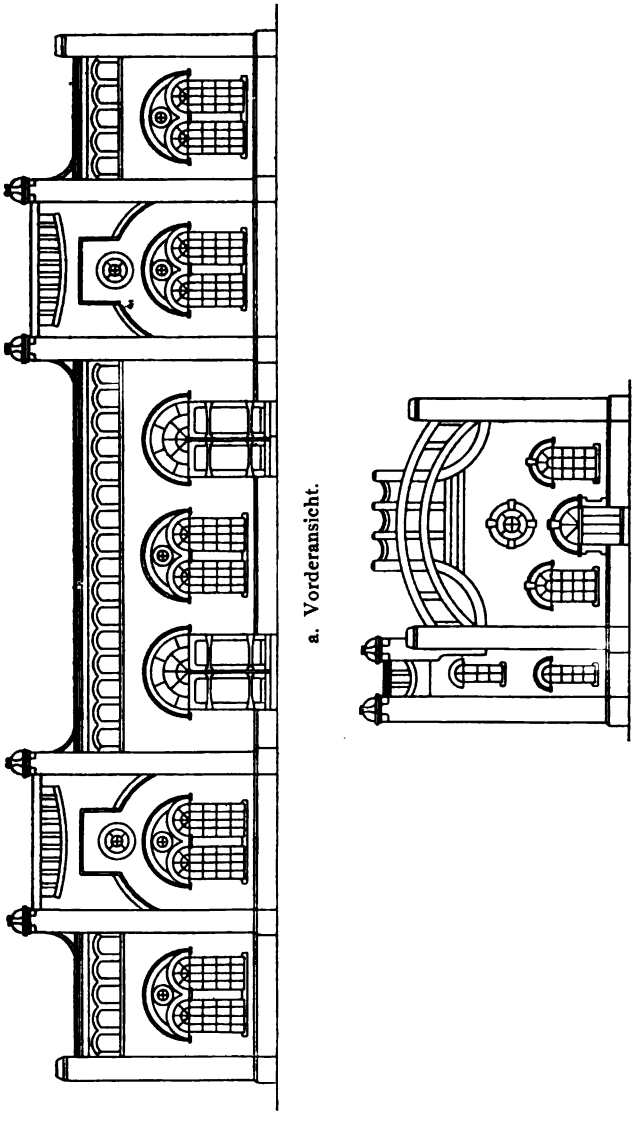
Abb. 158. Peltonturbine mit selbsttätiger Regulierung für das Talsperrenkraftwerk der Stadt Nordhausen a/H.

Max. Leistung 170 PS.

Werke ist außerdem eine Akkumulatorenbatterie von 80 K.W. und eine Pufferbatterie für den Straßenbahnbetrieb von 140 K.W. Leistung verbunden.

Das Wasser- und Elektrizitätswerk an der Ennepetalsperre (Westfalen, Ruhrgebiet). Das Kraftwerk (Abb. 159 bis 161) ist mit einem Sammelbecken von 10 Mill. cbm Stauinhalt verbunden, dessen Abfluß der Wasser- und Kraftversorgung im

Kreise Schwelm dient. Von dem Becken wird das Kraftwasser durch ein Stahlblechrohr von 1,4 m Weite auf 1300 m Länge den Turbinen zugeführt, auf die es mit einem



a. Vorderansicht. b. Seitenansicht.

Abb. 159a und b. Vorder- und Seitenansicht des Kraftgebäudes für das Wasser- und Elektrizitätswerk an der Ennepe-Talsperre.

Nutzdruck von 22 bis 47 m wirkt. Für den vollständigen Ausbau sind 8 Hochdruckturbinen von je 250 PS. Leistung zum Antrieb der Pumpen und elektrischen Maschinen vorgesehen.

Das Druckrohr liegt unter dem Fußboden des Kraftgebäudes und von ihm zweigen

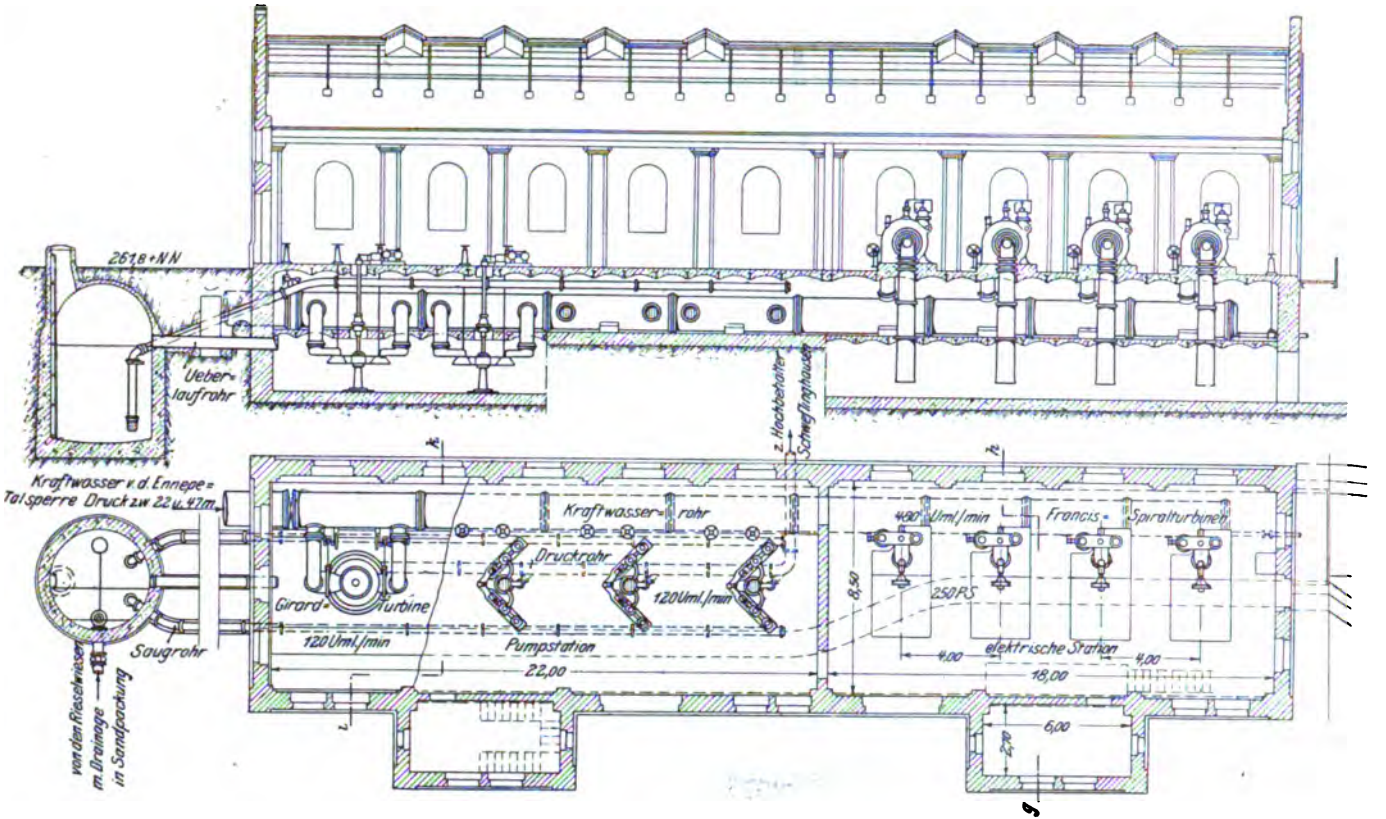


Abb. 160. Grundriß und Längsschnitt des Wasser- und Elektrizitätswerkes an der Ennepetalsperre (Westfalen).

8 Rohre nach den Turbinen ab. Für die Hebung des Trinkwassers sind zunächst 2 Girardturbinen mit 120 Umdrehungen in der Minute aufgestellt; sie sind mit den Zwillings-Plungerpumpen auf senkrechter Welle gekuppelt. Die Pumpen entnehmen das auf Rieselwiesen gereinigte Talsperrenwasser aus einem Sammelbrunnen. Die Leistung des Pumpwerkes beträgt zurzeit 6000 cbm täglich bei 120 m Förderhöhe nach dem Hochbehälter und kann auf 9000 cbm gesteigert werden. Dem elektrischen Betriebe dienen 3 Spiralturbinen mit Sauggefälle, die 500 Umdrehungen in der Minute machen und auf wagerechter Welle mit den Drehstromgeneratoren elastisch gekuppelt sind.

Die Pumpenturbinen haben Doppelkränze mit 2 Leitschaufelapparaten, um bei dem stark schwankenden Gefälle eine möglichst günstige Nutzwirkung zu geben. Für höheren Druck wird der eine, für niederen Druck der andere Kranz beaufschlagt (s. Grundriß und Längsschnitt). Von den Dynamoturbinen sind zwei für die größte Nutzleistung bei größeren Gefällen und zwei für die größte Nutzleistung bei kleineren Gefällen vorgesehen. Die Anlage ist im Jahre 1905 in Betrieb gesetzt.[1])

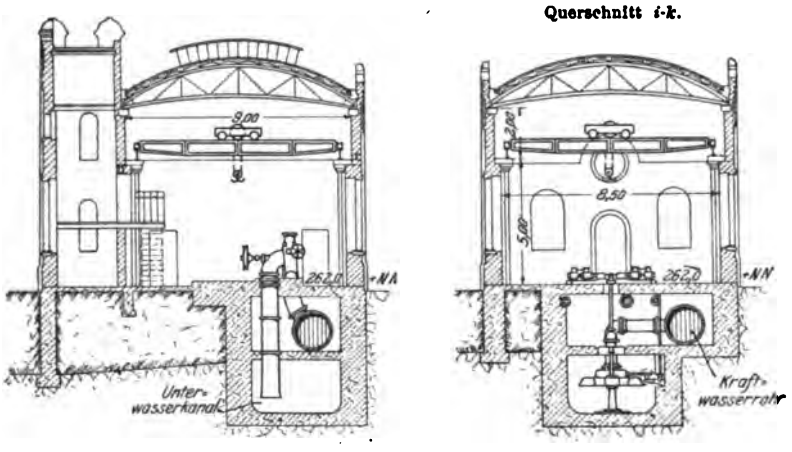


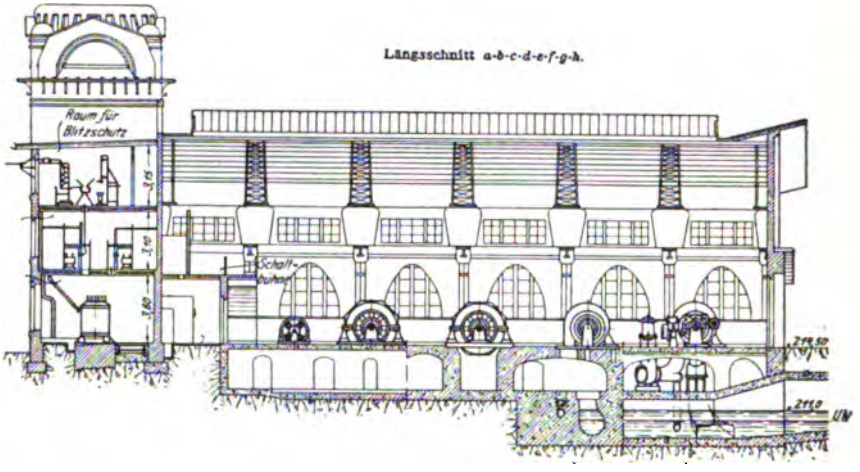
Abb. 161. Querschnitte durch das Kraftgebäude (s. Abb. 160) für das Wasser- und Elektrizitätswerk an der Ennepetalsperre.

Das Elektrizitätswerk Heimbach an der Urfttalsperre (Eifel). Das Kraftwerk (Abb. 162 bis 164) wird aus einem Sammelbecken von 45,5 Mill. cbm Stauinhalt gespeist. Von hier aus gelangt das Kraftwasser durch einen Stollen und die anschließenden Druckrohre (Abb. 63 und 68) zu den Turbinen mit einem zwischen 70 und 110 m schwankenden Gefälle. Im Kraftgebäude sind 8 Hochdruckspiralturbinen von je 2000 PS. Höchstleistung und 1500 PS. Mindestleistung, die mit 5 m Sauggefälle arbeiten, aufgestellt. Die Erregung der Drehstromgeneratoren geschieht durch 2 Hochdruckturbinen von je 250 PS. Nutzleistung mit Gleichstromgeneratoren.

Die Druckrohre liegen an den Außenwänden des Gebäudes in Betonkanälen unter Flurhöhe. Die Turbinen machen 500 Umdrehungen in der Minute und sind mit den Generatoren auf wagerechter Welle gekuppelt. Die Turbinen sind in zwei Gruppen nach

1) Intze, Talsperrenanlagen, Weltausstellung St. Louis 1904.

außen hin angeordnet, um die Dynamos nach der Mitte hin legen zu können. Dadurch wird der elektrische Betrieb der Gesamtanlage sehr nahe zusammengerückt. Von der Schaltbühne am Ende der Halle kann man bequem in den Gang, der zwischen den Dynamos bleibt, hineinsehen und den Betrieb überblicken. Gegenüber der Anordnung sämt-



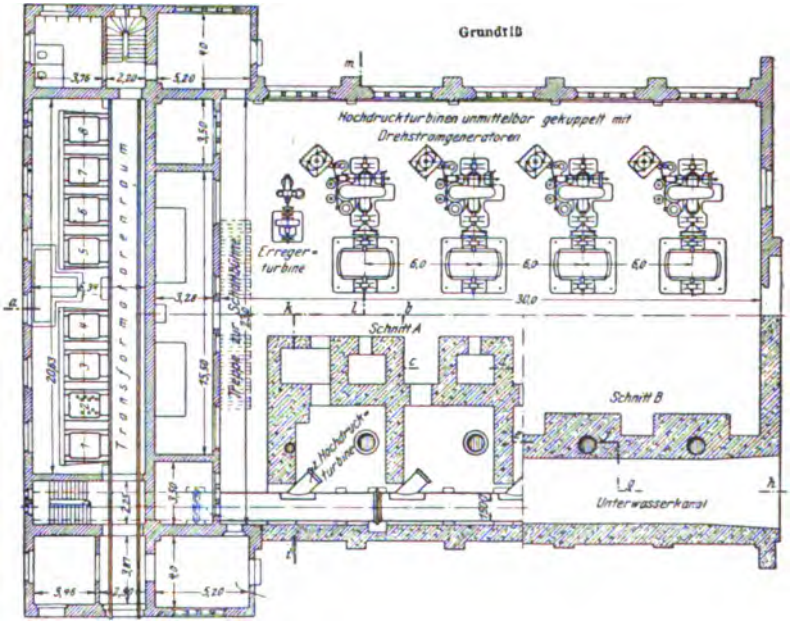


Abb. 162. Elektrizitätswerk Heimbach an der Urfttalsperre (Eifel). Grundriß und Längsschnitt.

licher Maschinen in einer Reihe hat dies sicher den Vorzug, daß der Gesamtapparat auf einen kleineren Raum zusammengedrängt wird. Statt eines langen, schmalen, rechteckigen Gebäudes entsteht ein mehr an das Quadrat anlehnender Grundriß. Die Schaltbühne ist am bergseitigen Ende des Hauses erhöht derart angebracht, daß eine gute Über-

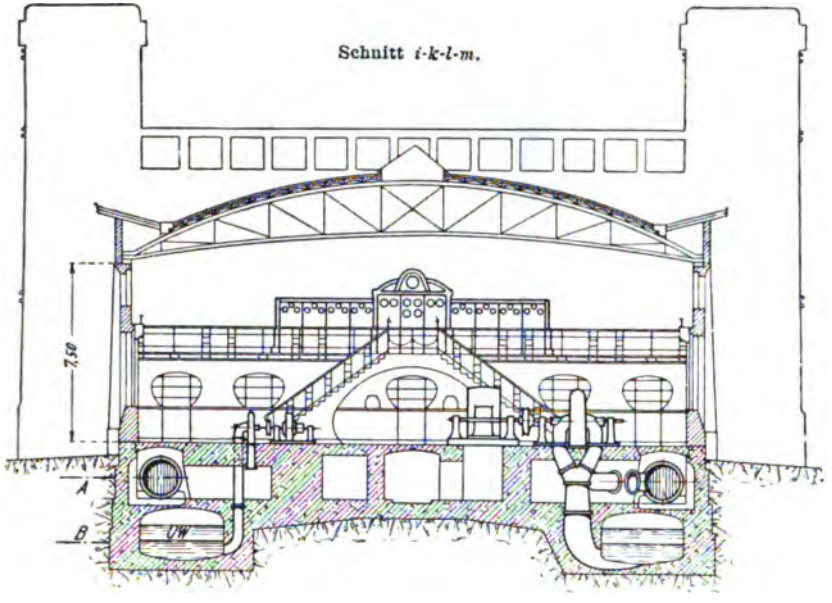


Abb. 163. Elektrizitätswerk Heimbach an der Urfttalsperre (Eifel). Querschnitt (s. Abb. 162).

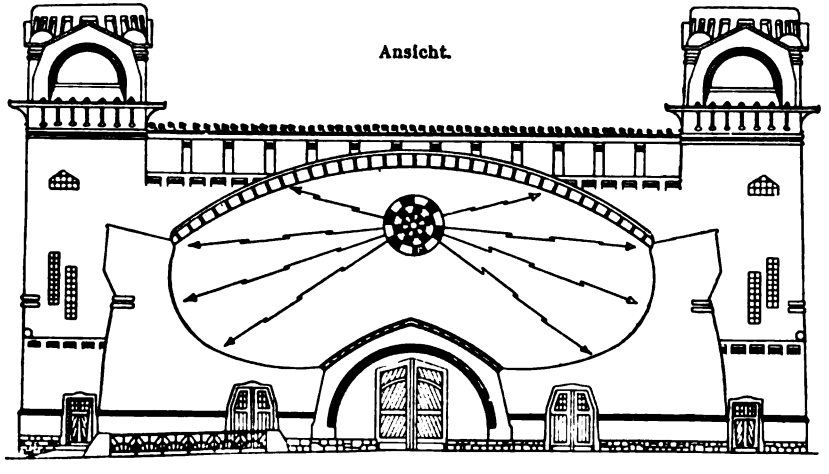


Abb. 164. Elektrizitätswerk Heimbach an der Urfttalsperre (Eifel).

sichtlichkeit vorhanden ist. In einem Kanal unterhalb der Flurhöhe sind die elektrischen Leitungen untergebracht. Die Kupferleitungen führen den Strom mit 5000 Volt Spannung

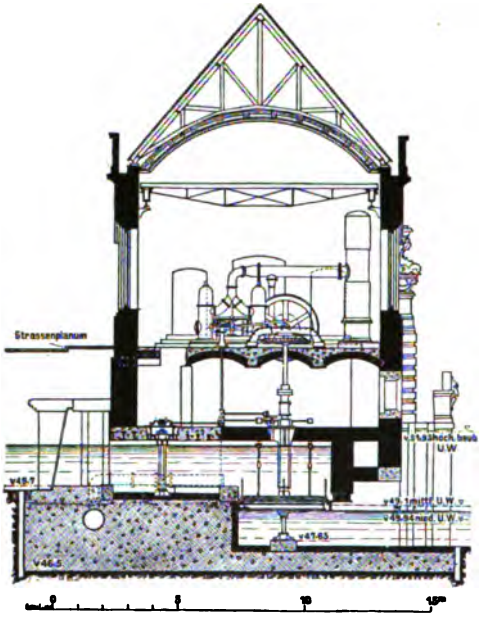


Abb. 165. Das Flußwasserkraftwerk in Hannover.
Querschnitt. Gefälle 2,15 m.

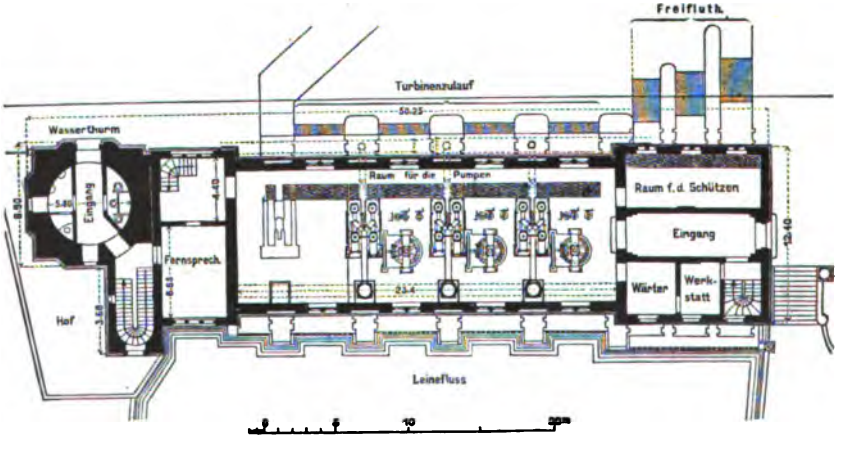


Abb. 166. Das Flußwasserkraftwerk in Hannover für die Hebung von Wasser für städtische Zwecke.
3 Turbinen von je 43 PS. Leistung.

den Transformatoren zu, wo er auf 35000 Volt für die Fernleitung auf 20 bis 30 km erhöht wird (s. S. 353). Die Transformatoren und sonstigen elektrischen Betriebseinrichtungen sind in 3 Stockwerken am bergseitigen Ende des Gebäudes angeordnet. Hier sind auch Bureau- und Arbeiterraum, Werkstätte und Lagerraum vorgesehen[1]). Den Betriebsplan dieses Kraftwerkes s. S. 104.

Das Flußwasserwerk der Stadt Hannover (Abb. 165 u. 166). Das Werk ist maschinell für die Förderung von 21000 cbm am Tage ausgebaut und 1899 fertiggestellt. Als Triebkraft dient das gestaute Leinewasser, welches ein normales Gefälle von 2,15 m besitzt und zunächst drei, später vier Turbinen treibt, deren jede 43 effektive Pferdekräfte leistet. Die Turbinen treiben mittels Räderübersetzung die Pumpwerke, deren jedes, aus zwei Paar doppeltwirkenden Pumpen bestehend, eine Wassermenge von 6900 cbm täglich in das Rohrnetz auf eine Höhe von rund 32 m hebt. Die Turbinen sind Doppelkranzturbinen; sie üben die normale Kraftleistung auch bei dem auf 1,04 m herabgehenden Hochwassergefälle aus. Die Pumpen sind wagerecht liegende doppeltwirkende Plungerpumpen; sie arbeiten normal mit 60 Umdrehungen in der Minute bei 32 Umdrehungen der Turbinen.

Der Wasserzulauf findet vom Oberwasser durch eine unter den Gebäudegrundmauern entlang geführte 90 cm weite Rohrleitung nach den in den Pumpenfundamenten angeordneten Saugschächten statt, in welche die Pumpensaugrohre eingehängt sind. Die gemeinschaftliche Druckrohrleitung der Pumpwerke mit 75 cm Lichtweite führt zunächst zu dem in einem angeschlossenen Wassertum aufgestellten Wasserbehälter und von dort in das Verteilungsnetz, welches eine Ausdehnung von rund 40000 m besitzt.

Das zur Aufnahme der Turbinen und Pumpen bestimmte Gebäude, dessen Grundrißlage durch die Direktion der Wasserwerke festgestellt war, zeigt eine Mittelhalle von 25,4 m Länge und 9,15 m Breite für die Pumpen. Unter derselben ist ein Keller für die Rohr- und Wellenleitungen angeordnet, und unterhalb dieser liegen die Gerinne mit den Turbinen. Die Halle liegt in gleicher Höhe mit der Straßenoberfläche. An dieselbe schließt sich an der einen Seite ein größerer Flügel mit drei Geschossen über der Straßenfläche an, der unten den Haupteingang und Werkstätten, oben Wohnungen für die Aufseher enthält. Diesem entspricht an der gegenüberliegenden kurzen Seite des Mittelbaues ein kleinerer Flügel, nur zweigeschossig, unten Fernsprechraum, oben ebenfalls noch eine kleine Beamtenwohnung enthaltend. An ihn schließt sich der Wasserturm mit 28,5 m Höhe vom Straßenpflaster an[2]).

Das Kraftgebäude des Elektrizitätswerkes Luzern-Engelberg. Das Kraftwerk steht in Obermatt am unteren Ende der Steilrampe der elektrischen Bahn Stansstad-Engelberg, schräg in einer auf beiden Seiten von steilen Lehnen eingeschlossenen Wiese. Die Kraftanlage birgt den Maschinensaal mit den Kabelkanälen und dem Ablaufkanal, den Schaltraum, den Transformatorenraum und in einem Anbau den Raum für eine Akkumulatorenbatterie nebst den Diensträumlichkeiten (Abb. 167 u. 168).

Der Maschinensaal, ein Raum von 54 m Länge, 13 m Breite und 12 m Höhe, ist zur Aufnahme von sechs 2000 PS.-Maschineneinheiten nebst drei zugehörigen Erregermaschinen gebaut.

Für den ersten Ausbau ist 1,00 cbm/sek. als Betriebswassermenge in Rechnung gezogen. Dies ergibt bei 75 v. H. Nutzwirkung der Turbinen 3000 beständige PS., an der

1) Intze, Talsperrenanlagen, Weltausstellung St. Louis 1904, und Harz, Die Ennepetalsperre, s. auch Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1906, woher die Abb. 159 bis 164.

2) Nach Zentr. d. Bauverw. 1900 S. 406.

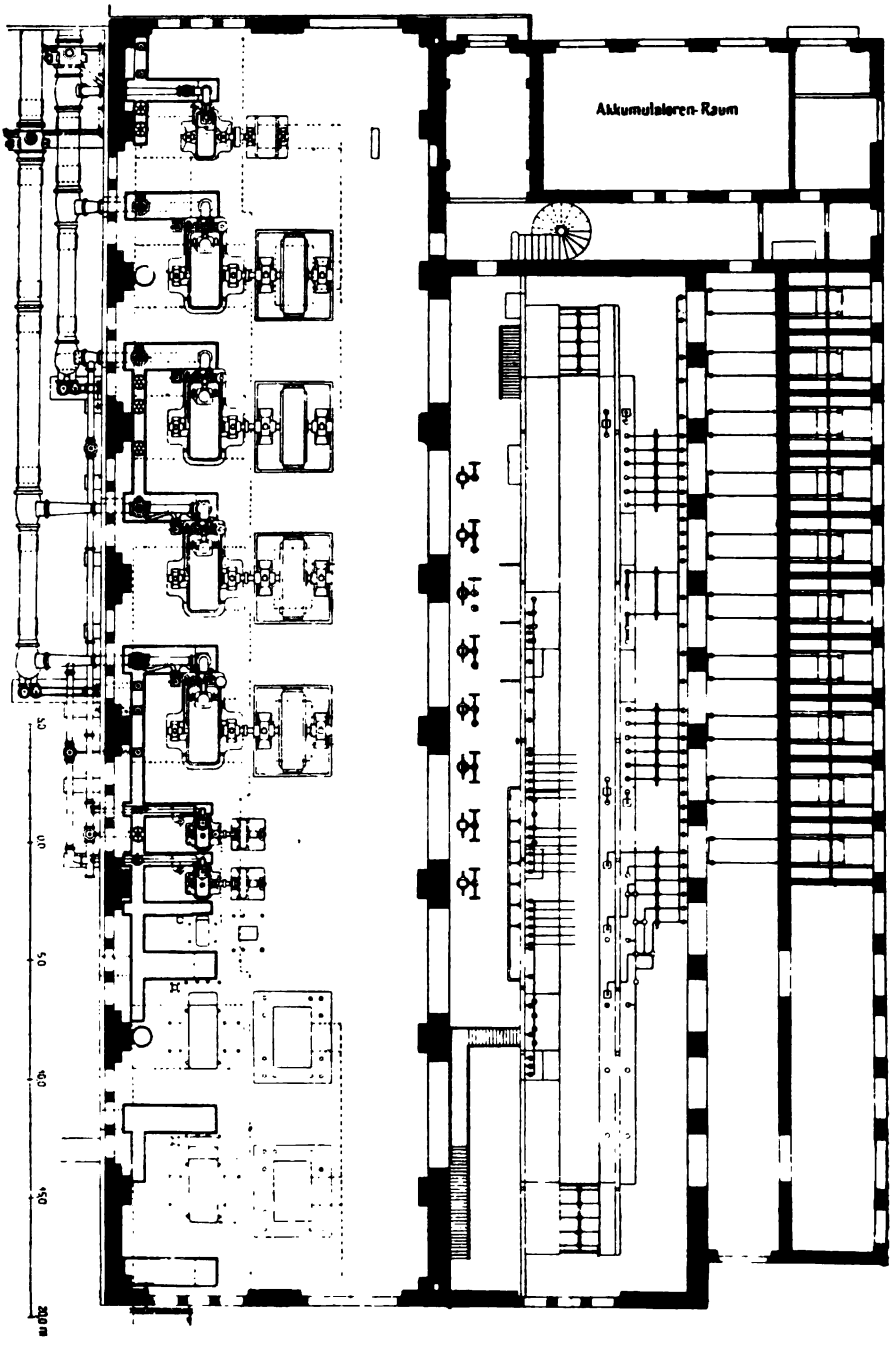


Abb. 167. Elektrizitätswerk Luzern-Engelberg.

Grundriß des Kraftwerkes in Obermatt mit Maschinensaal, Schaltanlage und Akkumulatorenraum.
Erster Ausbau auf 6000 PS., außerdem 1 Turbine von 2000 PS. zur Reserve.

Turbinenwelle gemessen. Mit Rücksicht auf die Wirkung des Ausgleichweihers als Tagesakkumulator wurde das Kraftwerk vorläufig für eine maximale Leistung von 6000 PS. und eine Reserve von 2000 PS. hydraulisch und elektrisch installiert.

Der erste Ausbau der Anlage umfaßt vier Generatorgruppen von 2000 PS. normaler und 2500 PS. maximaler Leistung, wovon eine Gruppe als Reserve dient; ferner zwei Erregergruppen zu 175 PS. und eine Gruppe von 600 PS. zum Betriebe der Stansstad-Engelbergbahn. Die Generatorturbinen sind bei dem Nutzgefälle von 300 m für eine Geschwindigkeit von 300 Umdrehungen in der Minute berechnet.

Der Maschinensaal wird in seiner ganzen Länge von einem elektrischen Laufkran von 13 t Tragkraft bestrichen. Die Beleuchtung des Gebäudes erfolgt von den Erregersammelschienen aus. Im Maschinensaal wurden Bogenlampen montiert, in den übrigen

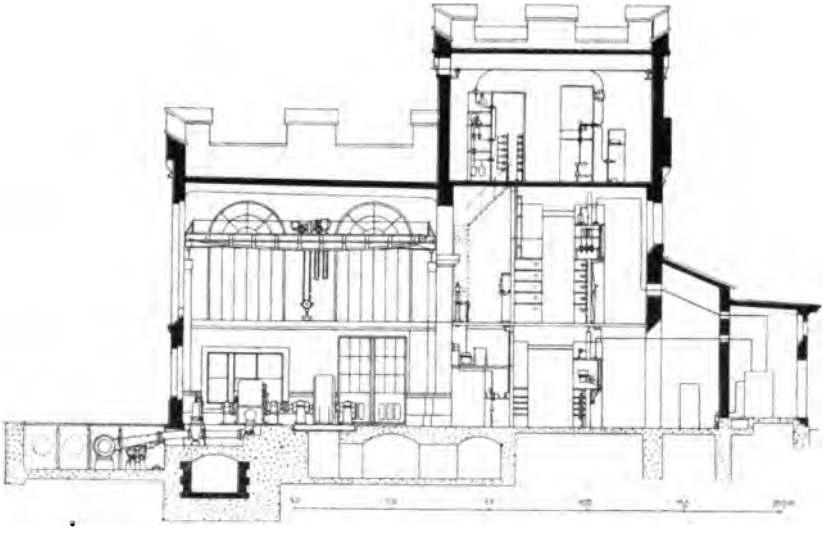


Abb. 168. Elektrizitätswerk Luzern-Engelberg.
Querschnitt des Kraftwerkes in Obermatt.

Räumen sind nur Glühlampen verwendet worden. Schalter und Sicherungen sämtlicher Beleuchtungsstromkreise sind auf einem Beleuchtungstableau zentralisiert.

Mit den Turbinen ist je ein Drehstrom-Generator mittels starrer Kuppelung verbunden.

Von den Generatoren führen isolierte Kabel, die in einen unterirdischen Gang verlegt sind, nach der Schaltanlage. Für den Bau der Schaltanlage waren reichlichste Raumbemessung und Einfachheit mit Rücksicht auf die Bedienung und größte Betriebssicherheit maßgebend.

Der Schaltraum zerfällt in Erdgeschoß, ersten Stock und Ausführungsturm. Das Erdgeschoß ist der Länge nach durch zwei Zwischenwände in drei Teile geteilt.

In dem an den Maschinensaal angrenzenden Teil und von jenem durch eine Glaswand getrennt, sind die Apparate für die Generatoren, Erregermaschinen und Batterie montiert. Eine Treppe führt von diesem Teile aus in ein Zwischengeschoß und von da in den ersten Stock.

Die Bedienung der verschiedenen Apparate der Generatoren, Erregermaschinen, Batterie und der Fernleitungen geschieht von der Schaltbühne aus, die den vorderen Teil des ersten Stockwerkes bildet.

Die Transformatorenanlage ist vom Schaltraum vollständig getrennt[1]).

Das Kraftgebäude des Elektrizitätswerkes Wangen a. d. Aare (Abb. 169 bis 171). Das Maschinenhaus, das das Oberwasserbecken abschließt, besteht aus sieben in einer Reihe angeordneten Turbinenkammern, aus der Maschinenhalle mit einem verbreiterten Mittelbau für die Schalttafel und aus einem viergeschossigen Turmbau am linken Kanalufer. Das Gebäude ist 67,5 m lang, wovon 9,9 m auf den 12,78 m breiten Turmbau entfallen. Abgesehen von den Vorkammern und dem auf festem Lande stehenden Turmbau ruht es auf einem mit 65,21 m Länge und 35 m Breite in den Kanallauf quer

Abb. 169. Das Elektrizitätswerk Wangen an der Aare (Schweiz).
Ansicht von Unterwasser.
Unterbau in Beton, Überbau in Backstein.

eingelassenen Betonunterbau. Zwischen den Turbinenkammern und der Maschinenhalle ist der Betonunterbau etwa 7,5 m über Kammerboden als 2,5 m und ganz oben als 1,12 m starke Wand emporgeführt, in der sieben kreisrunde Öffnungen von 2 m Durchmesser zum Durchführen der Turbinenwellen ausgespart sind. Auf diese Wand und auf die kanalabwärts gebildeten Gewölbe des Unterbaues setzt sich der Backsteinbau der Maschinenhalle auf.

Die Nische des Mittelbaues dient zur Aufnahme des Schaltbrettes und eines Teiles der Schaltanlage.

Der Rechen besteht aus geneigten, in der Mitte nochmals gestützten Flacheisen. Vor ihm ist die Kanalsohle mit einer Betondecke verschen.

Die Vorkammern sind ebenso wie die Turbinenkammern mit einem auf I-Trägern ruhenden Bohlenbelag abgedeckt. In die Pfeiler sind Falze zum Absperren der einzelnen

1) Nach Schweiz. Bauz. 1906, woher auch die Abb. 167 u. 168.

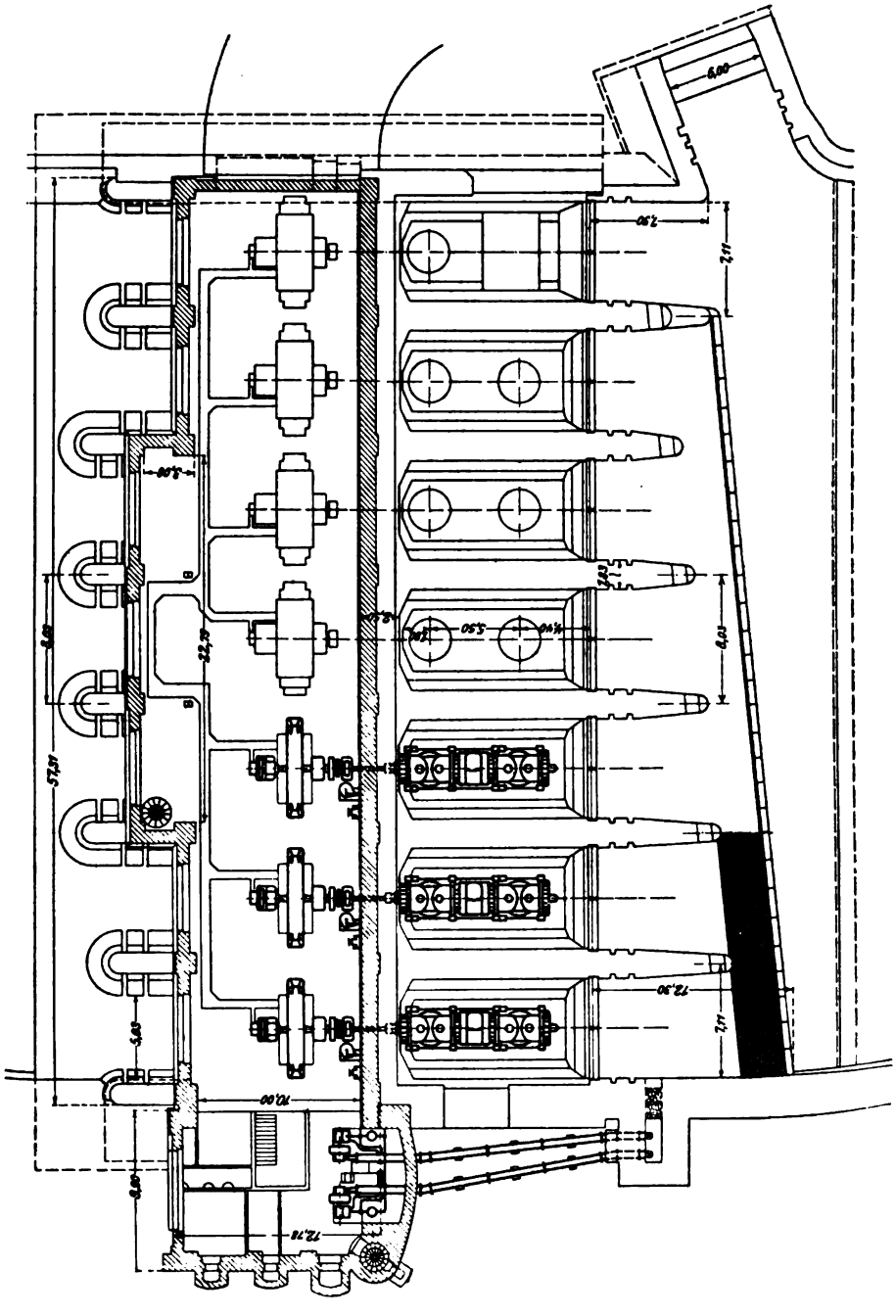


Abb. 170. Das Elektrizitätswerk Wangen an der Aare.
Grundriß mit Turbinenkammern, Maschinenhalle, Mittelbau für die Schaltanlage und Turmbau.
Kraftleistung 10 500 PS. in 7 Turbinenpaaren.

Kammern eingelassen. Aus den Turbinenkammern, welche durch Schützen gegen den Oberkanal abgeschlossen werden können, gelangt das Kraftwasser durch die Turbinen

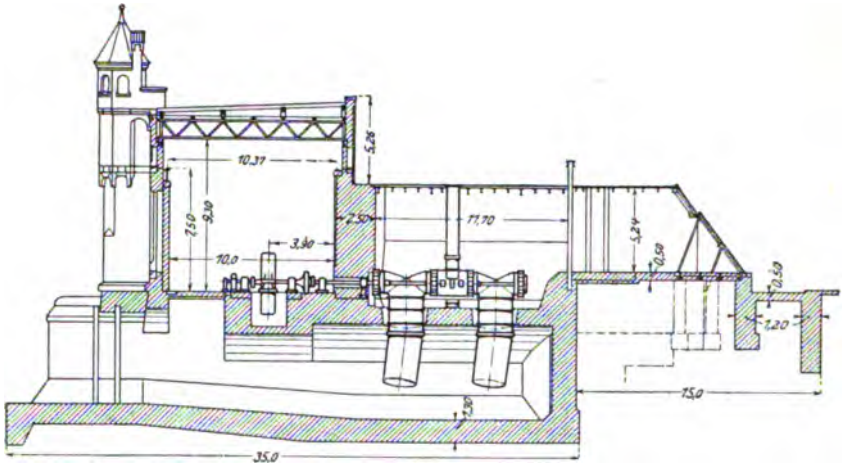


Abb. 171. Das Elektrizitätswerk Wangen an der Aare.
Querschnitt.

Abb. 172. Das Kraftwerk am Patapsco-Fluß bei Baltimore, Md.
Die Maschinenanlagen liegen innerhalb des Wehrkörpers. Kraftleistung rd. 5000 PS.

und deren Saugrohre in die Ablaufkammern. Auf dem linken Kanalufer schließt sich an die Maschinenhalle der erwähnte Turmbau, in dem ein Bureau, ein Akkumulatorenraum, ein Lagerraum für Öl usw. untergebracht sind.

Jede Turbinenkammer enthält zwei Francis-Doppelturbinen mit gemeinsamer Welle und je einem Saugrohr.

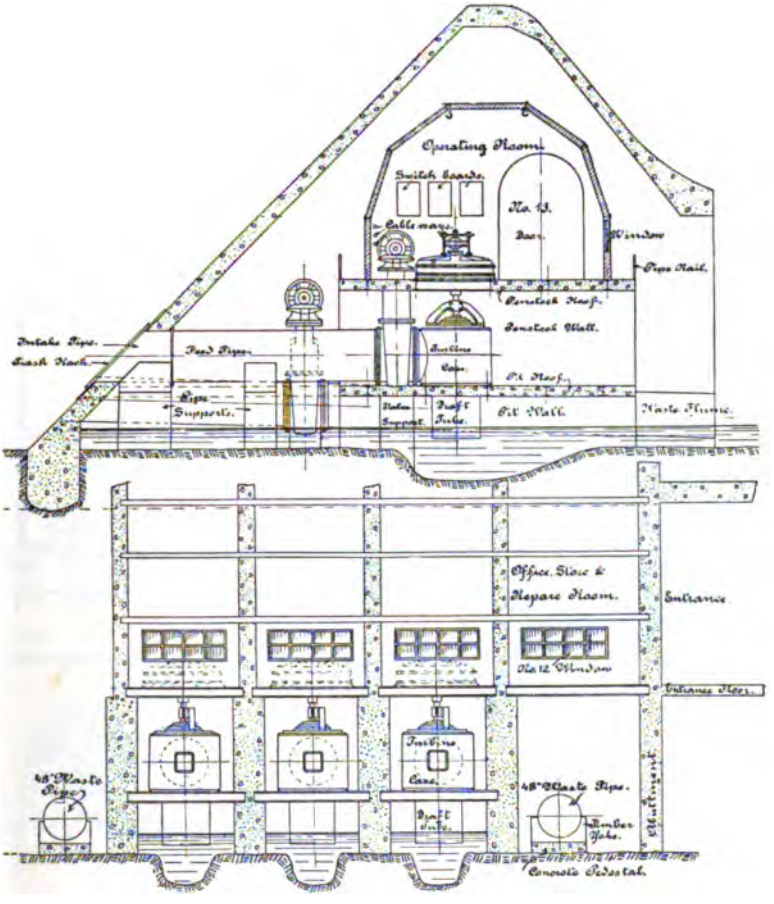


Abb. 173. Das Kraftwerk am Patapsco-Fluß.
Quer- und Längsschnitt des Wehres mit den maschinellen und elektrischen Einrichtungen des Kraftwerkes.

Jedes Turbinenpaar leistet zusammen 1500 PS. bei 150 Uml./min., 8,4 m mittlerem Gefälle und 17,3 cbm/sek. Wassermenge[1]).

Kraftwerk am Patapsco-Fluß bei Baltimore. Eine eigenartige Anordnung sowohl hinsichtlich der Konstruktion des Stauwehres, das in Eisenbeton ausgeführt ist,

1) Nach Zeitschr. d. V. deutsch. Ing. 1906.

als auch im besonderen in der Unterbringung des Krafthauses weist eine neue Anlage am Patapsco-Fluß bei Baltimore, Md., auf (Abb. 172 u. 173).

Während die bewährte Bauart von massivem Mauerwerk oder Beton der Beanspruchung des Wasserdruckes durch sein Gewicht widersteht, nutzt diese Konstruktion durch ihre dreieckige Querschnittsform den Wasserdruck selbst für die Standfestigkeit aus. Die Form ist so gewählt, daß die Wasserlast auf die Wehrböschung gleich der wagerechten Komponente ist. Die Konstruktion besteht aus einem Mantel aus Eisenbeton mit senkrechten Zwischenwänden. Der Materialverbrauch ist naturgemäß wesentlich geringer als bei gleichartigem vollen Querschnitt.

Von amerikanischen Ingenieuren wird diese Bauweise wegen ihrer Leichtigkeit gerühmt. Eine besonders bemerkenswerte vorteilhafte Verwendung haben die Hohlräume

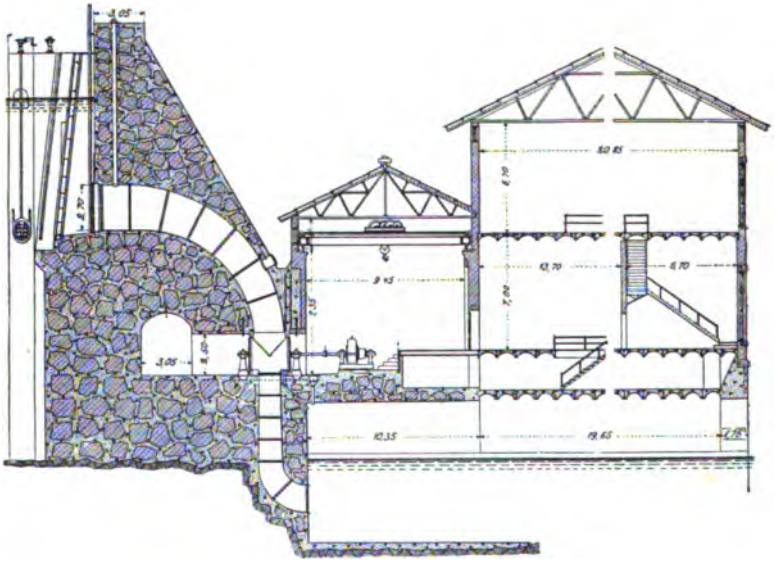


Abb. 174. Kraftwerk am Great Fall (Catawba-Fluß, Süd-Carolina).
Schnitt durch die Staumauer mit Kraftwasserentnahme und Maschinengebäude.
Kraftleistung 45 000 PS.

des Wehres gefunden. Das Kraftwerk ist, wie Abb. 173 erkennen läßt, in das Innere des Überlaufs verlegt. Das Eisenbeton-Wehr aufgelöster Konstruktionsart ist 72 m lang und 12 m hoch über der Gründungssohle. Der Wehrrücken ist nur in der oberen Hälfte ausgebaut, der untere Teil ist offen. Das Wehr ist auf Fels gegründet und schließt das ganze Tal ab. Der hohle Überlauf ist durch Zwischenwände in Kammern geteilt, die für die Unterbringung der maschinellen Ausrüstung ausgenutzt sind, indem der Raum durch Eisenbetonböden in mehrere Stockwerke geteilt ist. Die Art der Wasserzu- und -ableitung mittels Rohre zu den Turbinen, die Aufstellung der Turbinen und Dynamos ist aus der Abbildung ersichtlich. Die Räume erhalten Licht durch Fensteröffnungen auf der Rückseite des Wehres und Lüftung durch Ventilatoren. Die Konstruktion wird als eine ge-

drungene, sichere und von höchster Wirkung für die Ausnutzung der Wassermenge und des Gefälles bezeichnet, sie eignet sich für Wehrhöhen von 9 m und mehr. Die Kosten sollen sich wesentlich niedriger halten als bei den sonst üblichen Bauweisen. Das Kraftwerk ist ausgerüstet mit 3 Maschineneinheiten von 1650 PS. Leistung und wurde unlängst in Betrieb genommen[1]).

Kraftwerk am Great Fall (Catawba-Fluß, Süd-Carolina). Diese Anlage (Abb. 174) zeigt ebenfalls eine unmittelbare Verbindung einer hohen quer durch den Flußlauf gebauten Staumauer mit dem Kraftwerk. Die Turbinen liegen innerhalb des Stauwerks, das

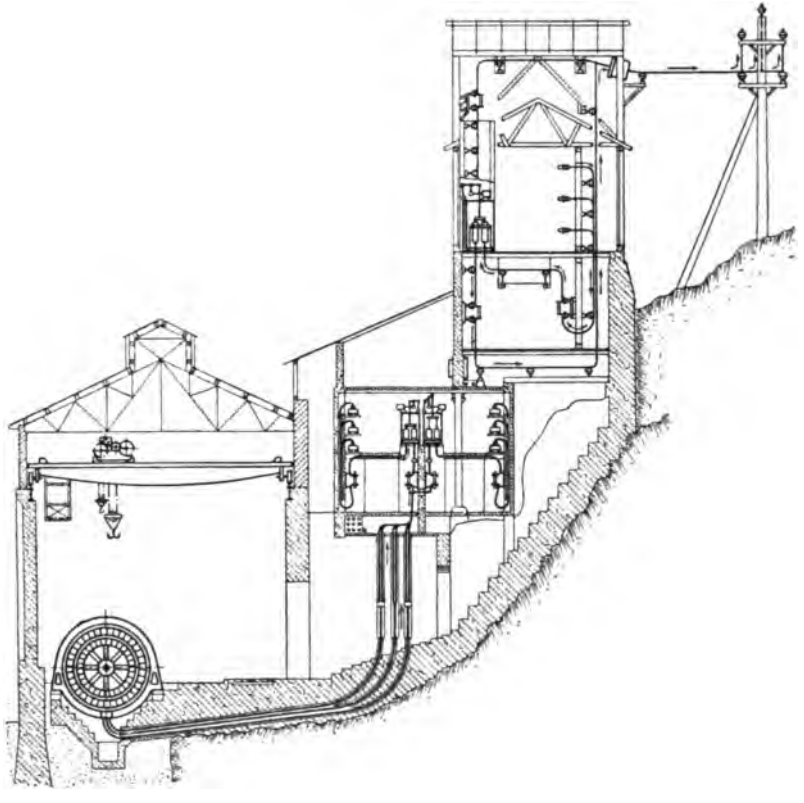


Abb. 175. Elektrizitätswerk am Puyallup-Flusse. Gesamtleistung zurzeit 20000 PS. Erweiterungsmöglichkeit auf 40000 PS.

eine Länge von 225 m und eine größte Höhe von 27,5 m hat. Die Leistung des Kraftwerks ist 45000 PS. Es ist ersichtlich, daß die Sperrmauer durch die großen Turbinenrohröffnungen stark geschwächt wird, aber man erachtete, daß diese Schwächung durch den vorderen Anbau und die untere Verstärkung des Maschinenhauses mit den langen und

1) The Engineering Magazine Juni 1907. Beschreibung einer ähnlichen Konstruktion in Utica, N. Y., s. Eng. Record. 1907 II S. 75.

breiten Pfeilern vollkommen ausgeglichen würde. Der Betrieb ist im Jahre 1908 aufgenommen worden [1]).

Ein Beispiel für eine auf beengtem Platze am steilabfallenden Berghange errichtete

Abb. 176. Das Elektrizitätswerk am Puyallup-Flusse (Washington). Turbinen im Betriebe.

Abb. 177. Das Elektrizitätswerk am Puyallup-Flusse. Innenansicht mit 4 Doppelturbinen.

1) Nach Eng. Rec. 18. 5. 07, s. auch J. d. V. d. Ing. 1908, S. 862.

Anlage bietet das Kraftwerk am Puyallup-Flusse in der Nähe von Tacoma in Washington (Nordwesten der Vereinigten Staaten) (Abb. 175 bis 177). Das Werk besitzt zurzeit 4 Turbinen-Drehstromdynamos von je 5000 PS. Leistung, kann aber auf das Doppelte erweitert werden. Das Nutzgefälle beträgt 265 m. Die Druckrohre sind den in einer Reihe stehenden, mit den Dynamos auf wagerechter Welle gekuppelten Turbinen im Fußboden zugeführt. Die Maschinen, die Transformatoren, die Schalteinrichtung und sonstige für den elektrischen Betrieb erforderlichen Anlagen sind je in besonderen Gebäuden von 81 m Länge untergebracht. Nach Erhöhung auf die Spannung von 55000 Volt gelangt der Strom zu den beiden Fernleitungen, die die elektrische Energie nach den beiden 40 und 75 km entfernten Städten Tacoma und Seattle bringen. Bemerkenswert ist, daß trotz der

Nach De La Brosse, Install. Hydro-électr.

Abb. 178. Inneres eines Niederdruckkraftwerkes (Chèvres).
Gesamtleistung des Werkes: 12000 bis 18000 PS. Fünfzehn Turbinen von 800 bis 1200 PS. Gefälle: 4,3 bis 8,5 m. Turbinen auf senkrechter Welle mit den Dynamos gekuppelt.

nicht unwesentlichen Strecken die Übertragung mittels Doppelleitung erfolgt. Es geschah dies zur Erzielung möglichster Betriebssicherheit. Der Strom dient zum Betriebe von Straßenbahnen, Fabriken, Eisenbahnwerkstätten und Beleuchtungsanlagen[1]).

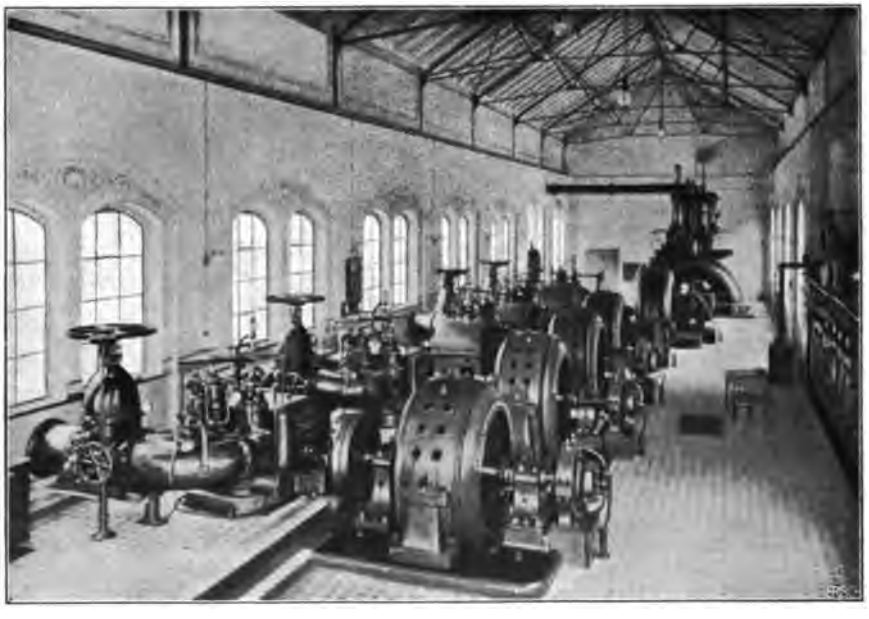
Eine Übersicht über die Inneneinrichtung eines Nieder- und Hochdruckwerkes und einer Anlage, in der beide Systeme vereinigt sind, geben die Abbildungen 178, 179 u. 180.

1) Transact. of Amer. Soc. of Civ. Eng. Dezember 1905 (ausführl. Beschreibung mit vielen Abbildungen) und Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1905. Turbinen von der Pelton Water Wheel Company.

D. Die Wasserkraftnutzung am Gewinnungsort und die Fernübertragung.

Kraftnutzung am Gewinnungsort und ältere Kraftübertragungsarten.

Bevor die elektrische Fernübertragung praktisch brauchbare Formen gefunden hatte, war es erforderlich, daß sich die Gewerbe an den Gewinnungsstätten der Wasserkräfte ansiedelten, wenn sie von letzteren



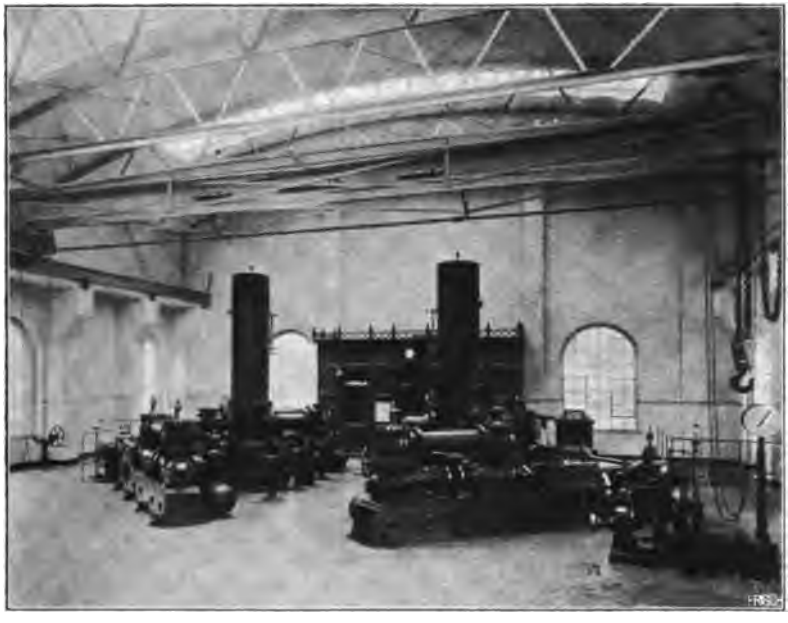
Nach Elektr. Zeitschr.

Abb. 179. Inneres eines Hochdruckwerkes (Kubel).
Gesamtleistung: 5000 PS. Vier Turbinen zu je 500 PS., zwei Turbinen zu je 1000 PS. Gefälle: 91 m. Turbinen auf wagerechter Welle mit den Dynamos gekuppelt. Zur Aushilfe Dampfanlage von 1000 PS.

Gebrauch machen wollten. Meist geschah dies in Einzelanlagen — Mühlen aller Art — deren Erzeugnisse dem örtlichen Verbrauch dienten. Schwierige Wege- und Verkehrsverhältnisse für die Zufuhr der Rohstoffe und den Absatz der fertigen Stücke standen — besonders in früherer Zeit — dem Aufblühen eines reicheren gewerblichen Lebens in entlegenen Ge-

genden entgegen. Oft auch bieten enge Gebirgstäler nicht den nötigen Raum für größere bauliche Entfaltung.

Aber dessenungeachtet findet man seit Mitte des abgelaufenen Jahrhunderts Beispiele, wo Wasserkräfte zu Mittelpunkten der Bevölkerung geworden sind — gleichsam als Kolonien unwirtbare Gegenden der menschlichen Bewirtschaftung erschließend. Amerika zeigt ein mannigfaches Bild solcher zentralen Entwicklung. Es entstanden in diesem Lande



Hochdruckseite. Niederdruckseite.

Abb. 180. Inneres eines vereinigten Nieder- und Hochdruckwerkes (Solingen). Ansicht der Pumpengruppen.

Gesamtleistung: 1550 PS. Fünf Turbinen von je 300 und 355 PS. mittl. Leistung. Gefälle: 5 bzw. 50 m. Turbinen mit den Pumpen bzw. Dynamos unmittelbar gekuppelt (s. Abb. 129).

mehrfach rund um die natürlichen Kraftquellen Fabrikanlagen und reichbevölkerte Städte. Es sei auf die St. Anthony-Fälle am oberen Mississippi bei Minneapolis hingewiesen, an denen eine Mühlenstadt heranwuchs, die heute die stattliche Zahl von 500 000 Einwohnern erreicht hat. Eine gleiche Erscheinung zeigt sich nördlich von Minneapolis an den Little

Falls an demselben Strome[1]). Von 500 Angesessenen vergrößerte sich innerhalb eines Jahres nach Fertigstellung des Kraftwerkes, das eine Leistungsfähigkeit von 17000 PS. besitzt, die Zahl um das Doppelte, und gegenwärtig hat die Stadt eine Bevölkerung von 7500 Seelen, die von dem Wasserfalle leben. Auch die Wasserkraftanlagen am Niagara und die bei Manchester im Tale des Merrimac-Flusses können hier genannt werden. Allerdings entsteht solche Entwicklung nur, wenn sich die Anziehungskraft sehr bedeutender Wasserkräfte, wie sie eben Amerika besitzt, äußert. Europa weist in früherer Zeit wohl kaum derartiges auf, und erst in neueren Jahren hat die elektrochemische Industrie ähnliche Zentralpunkte geschaffen (Rheinfelden[2]), Gersthofen, Neuhausen am Rheinfall u. a.)[3]).

Aber auch solche Ansiedlungen, die sich unmittelbar rund um eine

Abb. 181. Ehemalige Seilübertragungsanlage des Kraftwerkes der Stadt Schaffhausen a/Rh. für 600 bis 700 PS. Leistungsfähigkeit.

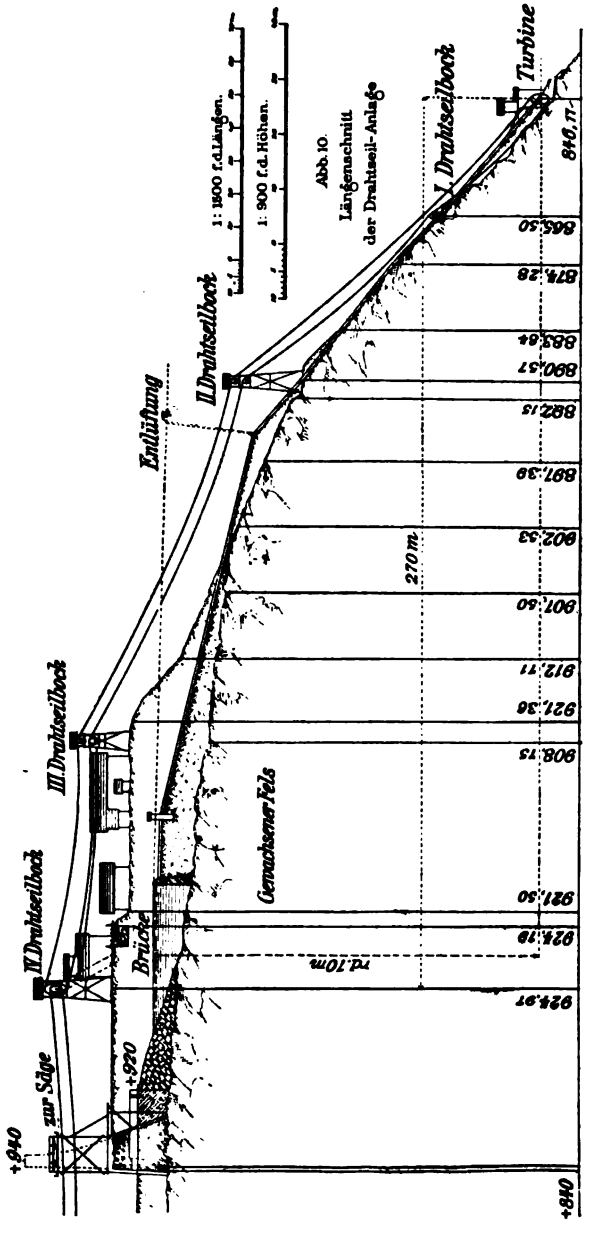
Wasserkraft gruppieren, bedingen eine Übertragung und Verteilung der Kräfte, denn es ergibt sich dabei eine Gliederung in Einzelanlagen mit immerhin einiger Flächenausbreitung. An den erwähnten Unternehmungen des Niagarafalles geschah diese Zerlegung in der Weise, daß in besonderen Triebwerkskanälen den einzelnen Werken oder einer Gruppe von Fabriken der zugehörige Anteil an Kraftwasser zu-

1) Eng. Rec. Juni 1905.

2) Hier ist ein Industrieort (Badisch Rheinfelden) infolge der Errichtung des Kraftwerkes (1895 bis 1898) neu entstanden, der 1900 bereits eine Bevölkerung von 1500 Personen hatte.

3) Über ähnliche Vorgänge in Frankreich s. De La Brosse, Installat. Hydro-Électr. S. 59.

geführt wurde. Dies Verfahren war kostspielig und umständlich, und die an sich zwar interessante Art, wie die Kostenverteilung für diese



Nach Zeitschr. f. Bauwesen.

Abb. 182. Drahtseilanlage für die Übertragung von 120 PS. zur Förderung der Baustoffe und zum Betriebe der Steinbrecher, Sandmühlen und sonstiger Maschinen beim Bau des Stauweihers Lauchensee in den Vogesen.

Wassernutznießung erfolgte[1]), erweist schon allein ihre Unvollkommenheit.

Doch man erblickt hierin wohl die ersten Anfänge der Bestrebungen, die auf eine Dezentralisierung der Wasserkräfte gerichtet sind, und es mag von Bedeutung sein, den weiteren Werdegang an einigen ausgeführten Werken zu verfolgen. Eine bemerkenswerte Erscheinung in diesen Entwicklungsformen bildet die Seilübertragung am alten Wasserkraftwerk der Stadt Schaffhausen a. Rhein (Abb. 181). Sie galt zur Zeit ihrer Ein-

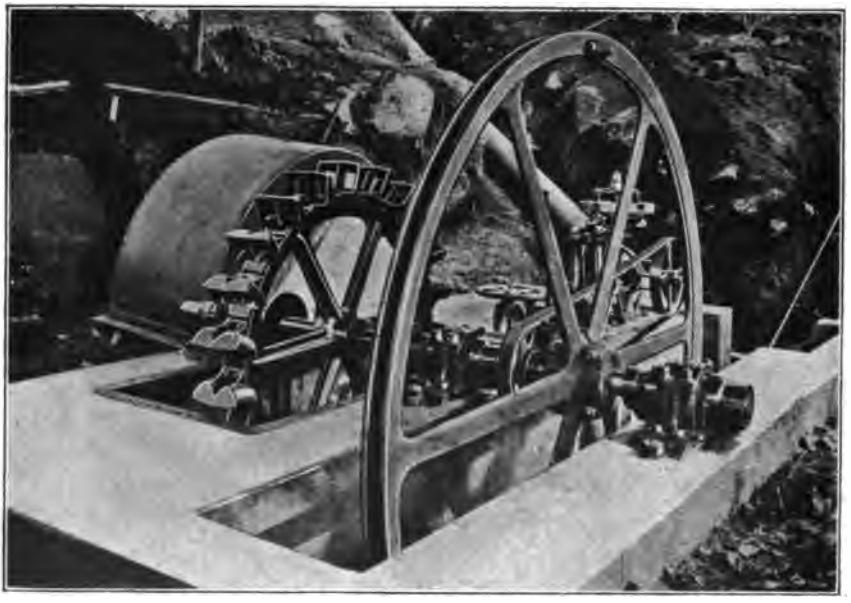


Abb. 183. Peltonrad auf gleicher Welle mit Seilscheibe zur Kraftübertragung mittels Seil bei einer Anlage in Amerika.

richtung, um das Jahr 1866, als eine der kühnsten und bewunderungswertesten Schöpfungen der Ingenieurkunst und diente zur Übertragung von 600 bis 700 PS. nach nahegelegenen Fabriken auf einige hundert Meter[2]). Auf Quaderpfeilern zogen sich längs und quer zum Rhein die Seile hin; an den Arbeitsstätten erfolgte dann die weitere Umsetzung durch Wellen und Zahnräder. Diese Anlage hat der elektrischen Übertragung weichen müssen und nur an den Pfeilerresten erkennt man heute

1) Riedler, Studien über Kraftverteilung. Z. d. Ver. deutsch. Ing. 1892.
2) Die Elektrizitätswerke und die Straßenbahn der Stadt Schaffhausen. Zürich 1903.

noch ihr ehemaliges Dasein. Ein weiteres Beispiel bietet das alte Kraftwerk der Stadt Genua, an dem im Jahre 1885 eine Seilübertragung auf 500 m für 400 PS. eingerichtet wurde. Zu erwähnen ist hier auch die beim Bau der Talsperre am Lauchensee (Vogesen) für Bauzwecke benutzte Drahtseilanlage (Abb. 182 s. ferner Abb. 183).

Kraftübertragung mittels Druckwasser und Druckluft.

Eine andere Stufe des Ausbildungsganges bedeutete die Kraftumsetzung und Verteilung mittels Druckwasser und Druckluft. Zwei Vorgänge seien erwähnt. In den siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts zeigten sich die ersten Bestrebungen, dem Kleingewerbe billige mechanische Kraftleistungen zur Verfügung zu stellen, und man fand dafür ein Mittel in kleinen hydraulischen Motoren, die aus den in dieser Zeit allgemeiner werdenden zentralen Wasserleitungen angetrieben werden sollten. Diesem Wunsche verdankt ein Kraftverteilungssystem sein Entstehen, das anfangs der achtziger Jahre in Genf eingerichtet wurde. Die wirtschaftliche Ausnutzung der Wasserkräfte der Rhone erfolgt hier nach Umsetzung in Kraftwasser, das in einem Rohrnetz zu den Abnehmern gelangt. Ehe man sich für diese Übertragungsform entschied, wurden 1883/84 sorgfältige Voruntersuchungen angestellt darüber, ob die Kraftleitung mittels Drahtseiles, durch Druckwasser, Preßluft oder elektrische Kabel geschehen solle. Das Ergebnis war: Bei Übertragung einer Kraft von 100 PS. auf 5 km würde gekostet haben 1 PS.:

bei Seilübertragung . . . . . 23,2 Pfennig,
» Preßluftübertragung . . . 29,6 »
» Druckwasserübertragung 54,0 »
» elektrischer Übertragung 21,6 »

Trotz der hohen Kosten der Druckwasserübertragung entschied man sich hierfür, wobei die Sicherheit im Betriebe, die Bequemlichkeit in der Handhabung und die Zuverlässigkeit der Anlage ins Feld geführt wurde — Gründe, die damals wohl ihre Berechtigung gehabt haben mögen als Vorzug gegenüber der elektrischen Fernleitung. Die technische Einrichtung ist eigenartig (Abb. 184). Es werden bei einem Gefälle der Rhone von 1,7 bis 3,7 m 3800 PS. ausgenutzt und das Wasser aus dem Genfer See wird 60 und 140 m nach Hochbehältern gehoben, von wo es mittels Stadtrohrnetzes den Werkstätten als Druckwasser zugeführt wird. Turbinen arbeiten als Kleinkraftmaschinen. 1 PS. kostet jährlich 320 Mk.,

bei Entnahme von 100 PS. nur 112 Mk.[1]). Ein Vergleich der beiden Genfer Kraftwerksanlagen von Coulouvrenière mit seiner Druckwasserkraftverteilung und von Chèvres, das die Wasserkräfte der Rhone elektrisch fernleitet, läßt bei örtlicher Besichtigung dieser Werke die Überlegenheit des letzteren so recht in die Augen springen. Dort für die Nutzbarmachung von ~ 4000 PS. ein an Grundfläche und Unterbau bedeutendes Gebäude, hier für 18000 PS. ein Bau mit nicht viel mehr als halber Größe. Dazu in Coulouvrenière die großen Maschinen, Pumpen, Rohr-

Abb. 184. Kraftübertragung mittels Druckwasser.
Inneres des Kraftwerkes La Coulouvrenière in Genf mit den Pumpen zur Hebung des Wassers in die Hochbehälter.

leitungen! Die unmittelbare Anschauung gibt die Überzeugung, daß dieses Werk heute nur noch ein interessantes Bild einer vergangenen Entwicklungsperiode bedeutet. Eine ähnliche Übertragung mittels Druckwasser hat das 1884 eingerichtete Hochdruckwerk bei Horgen am Züricher See. Zum Vergleich mit diesen Ergebnissen mögen die Angaben der

1) Näheres: Notes et Croquis Techniques sur Genève. 1902.

Tab. 23 dienen, die man bei Hoppe, Berechnung von Betriebskosten und Rentabilitäten, findet[1]).

Auch in Amerika hat man die Frage erörtert, das Wasser aus städtischen Wasserleitungen für Kraftzwecke zu verkaufen[2]). Doch haben Aufrechnungen der Betriebskosten bei solchen Werken, bei denen das Wasser zunächst mittels Pumpen in einen Behälter gehoben und dann in das Rohrnetz verteilt wird, in Übereinstimmung mit vorstehenden Zahlen ergeben, daß diese Kosten zwei bis viermal so groß sein würden als bei elektrischem Betriebe. Dazu kommt, daß bei solcher Kraftwasser-

Tabelle 23. Stündliche Gesamtkosten bei Übertragung einer Kraft,

welche ursprünglich 1 Pfennig für die Pferdekraft und Stunde kostet.

Zu übertragende PS.	Art der Übertragung	Stündliche Gesamtkosten der PS. in Mark bei einer Übertragungsentfernung in Kilometern					
		0,1	0,5	1,0	5,0	10,0	20,0
5	Elektrisch	2,1	2,1	2,2	2,7	3,0	4,8
	Wasser	2,4	2,7	2,9	6,0	9,7	18,4
	Drahtseil	1,0	1,4	1,8	5,1	9,6	21,1
10	Elektrisch	1,9	1,9	2,0	2,4	2,9	3,5
	Wasser	2.2	2,3	2.6	3,7	7,1	13,3
	Drahtseil	1,0	1,4	1,6	4,2	7,9	17,7
50	Elektrisch	1.8	1,8	1,9	2,1	2,6	3,9
	Wasser	1,6	1,6	1,7	2,7	2,9	7,2
	Drahtseil	1,0	1.1	1.2	2.3	3,2	10,3

entnahme aus städtischen Wasserversorgungen der größte Kraftbedarf zeitlich mit dem größten Trinkwasserbedarf zusammenfällt, während bei Elektrizitätswerken der Kraft- und Lichtverbrauch in der Hauptsache hintereinander liegen, so daß eine günstigere Beanspruchung des Werkes vorhanden ist. Die Wasserkraftnutzung aus städtischen Leitungen erscheint darum allgemein nicht wirtschaftlich; sie mag aber im Einzelfalle bei besonderen örtlichen Bedingungen wohl anwendbar sein, z. B. wenn Wasser, das in natürlichem Gefälle zufließt, in überreichlichem Maße zur

1) Weiteres über Wirkungsgrade bei Kraftübertragung mittels Elektrizität, Seil, Druckwasser und Druckluft s. auch The Engineering Magazine. Jan. 1905.

2) Eng. Rec. 17. 6. 1905.

Verfügung steht. Für solche Ausnutzung werden heute Peltonräder in kleinsten Abmessungen von 10 bis 15 cm Raddurchmesser angefertigt, die in hauswirtschaftlichen Betrieben bei Nähmaschinen, Musikwerken, Stiefelputzmaschinen u. a. m. Anwendung finden können. Wenn sich dabei auch die Kraft vielleicht etwas teuer stellt, so handelt es sich doch immer nur um kurzen Bedarf. Diese Kraftquelle hat mit dem Elektromotor den Vorteil steter Betriebsbereitschaft, der Reinlichkeit und kleinen Raumbedarfs, aber noch den besonderen Vorzug, daß dort, wo einmal Wasserleitungen im Hause liegen, nicht noch weitere Kraftleitungen gelegt werden dürfen.

Bei den Voruntersuchungen zur Ausnutzung von 125 000 PS. am Niagarafall in den neunziger Jahren machte Riedler den Vorschlag, die Kraftübertragung nach dem 32 km entfernten Buffalo mittels Druckluft zu bewirken. Es schien die technische wie wirtschaftliche Seite der elektrischen Fernleitung noch nicht genügend geklärt. Doch fand dieser Gedanke keine Verwirklichung. Die Kraftübertragung gelangte überhaupt nicht zur Ausführung; sie scheiterte an den Bedenken, die damals im allgemeinen gegen ein solches Unternehmen erhoben wurden[1]).

Neuerdings hat die Kraftverteilung mittels Druckluft innerhalb Fabrikräumen, bei maschinellen Bohrungen u. a. m. einige Aufnahme gefunden[2]).

Elektrische Kraftübertragung.

Heute beherrscht die elektrische Kraftübertragung das Feld, und wohl kaum eine andere Form kommt bei größeren Strecken in Frage. Sie hat, wie Janssen[3]) hervorhebt, in den zentralen Kraftanlagen Aufgaben gelöst, denen weder mit Dampf, noch mit Druckluft oder Preßwasser gleich erfolgreich und vollkommen beizukommen war.

Die Wasserkräfte sind damit von der örtlichen Gebundenheit gelöst worden und allgemein in Wettbewerb gestellt mit den Wärmekraftmaschinen. Infolgedessen sind diese beiden natürlichen Kraftquellen als gleichbeweglich anzusehen und neben den Betriebsrücksichten wird in erster Linie die Kostenfrage im Einzelfalle die Entscheidung über ihre Anwendung erbringen. Die weitere natürliche Folge davon ist, daß heute die gewerbliche Verwertung der Wasserkräfte sehr oft nicht dort erfolgt, wo die Krafterzeugung stattfindet, sondern dort, wo der Kraftbedarf vor-

1) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1892. 2) S. S. 238.
3) Stahl u. Eisen. 1905.

handen ist. Und gewiß wird man beistimmen können, wenn bisweilen die Ansicht ausgesprochen wird, daß heute Überlandzentralen eine eben so hohe wirtschaftliche Bedeutung haben können, wie etwa ein Netz von Kleinbahnen.

Die Verwertung der Wasserkräfte vermag sich damit in günstiger Weise der heute in der Industrie vorherrschenden Konzentrationsbewegung anzupassen. Und darin liegt ein gesunder Grundsatz insofern, als mit diesem Vorgange wie im Großbetrieb eine Verbilligung der Erzeugungskosten verbunden ist. Aber nicht nur dies. Es ist auch vorteilhaft für sich entwickelnde Kleinbetriebe, wenn aus Zentralanlagen die Betriebskraft beliebig käuflich ist. Diese kleinen Unternehmungen sind damit der Aufwendung eines erheblichen Kapitals in den maschinellen Anlagen enthoben. Verfehlte Anlagen von kleinen Kraftwerken — ein allgemein volkswirtschaftlicher Verlust — infolge mangelnder Sachkenntnis werden vermieden. Es ist nur die laufende, kleinere Ausgabe für eine wirklich gelieferte und unmittelbare nutzbare Ware nötig.

Die deutsche Wissenschaft hat den Ruhm, die praktische Möglichkeit der Fernleitung zuerst nachgewiesen zu haben und hat damit eine Art wirtschaftlicher Umwälzung und vollständige Änderungen im Turbinenbau herbeigeführt, jedoch die Erfolge zieht in erster Linie das Ausland. Die deutsche Turbinen- und Elektrizitätsindustrie liefert heute nach vielen Ländern der Erde, wo überall die Ausnutzung der Wasserkräfte in ausgedehntestem Maße stattfindet. Aber wir selbst sind noch im Rückstande. Vor allem in der Fernübertragung der Wasserkräfte ist Amerika dem europäischen Festlande weit voraus. Europa forschte, sagt in Beziehung hierauf ein amerikanisches Fachblatt, Amerika handelte[1]).

Die nachstehende Tab. 24, einem Aufsatze von Ayrton[2]) entnommen, gibt ein Bild der bemerkenswertesten Vorversuche, die ihre Krönung in der Fernübertragung Lauffen-Frankfurt fanden, die einen wirtschaftlich brauchbaren Wirkungsgrad von 75,3 v. H. lieferte.

Amerika steht heute sowohl hinsichtlich der Entfernungen als auch der Höhe der Stromspannungen obenan. Die längste erprobte Übertragung ist zurzeit wohl die des De Sabla-Kraftwerkes, von dem aus die Zuführung des Stromes nach San Francisco und benachbarten Plätzen

1) Eng. Rec. 1903.

2) Engineering 1905, Scient. Americ. Supplem. Nov. 1905, Engin. Mag. Dez. 1905, s. auch De La Brosse, dessen Angaben ein wenig abweichen.

zeitweise auf 600 km erfolgt ist. Veranlassung zu dieser außerordentlichen Entwicklung haben die reichen Wasserkräfte in den abgelegenen Gebirgstälern der Westküste und die Kohlenarmut dieser Landbezirke gegeben[1]). Und man ist in Amerika der Ansicht, daß mit solchen Leistungen noch keineswegs die Grenze erreicht ist. Bedeutungsvoll für die Entwicklung der hohen Übertragungsspannungen waren die Versuche der Westinghouse Co. im Jahre 1898, die sich mit der Prüfung des Widerstandes in den Leitungen und den Verlusten an den Isolatoren und an die umgebende Luft beschäftigten. Man erkannte hierbei, daß die Energieabgabe an die Luft bei kleinen Spannungen ziemlich gering ist, daß sie jedoch ein wesentliches Maß erreicht, wenn die Spannung 20 000 Volt überschreitet. Die folgende Tabelle 25 — ebenfalls nach Ayrton —

Tabelle 24. Entwicklung der elektrischen Kraftübertragung.

	1882 Hirschau—München	1883 Vizille—Grenoble	1886 Creil—Paris	1891 Lauffen—Frankfurt
Übertragungsspannung (Volt)	700	3000	6000	25 000
Kraftleistung (PS.)	5,8	7	52	114
Entfernung (km)	4,4	15	44	175
Wirkungsgrad der Übertragung v. H.	36	62	45	75.3
Material der Drähte	—	Silizium-Bronze	Kupfer	Kupfer

gibt eine Übersicht der neueren Ausführungen in verschiedenen Ländern der Erde.

Auch in Europa findet man in dem kohlenarmen Italien und in Frankreich ansehnliche Übertragungsweiten von Wasserkräften, wie die Tabelle 25 erkennen läßt. Deutschland hat mit solchen Entfernungen weniger zu rechnen, weil die verteilt liegenden Kohlenlager dem Wettbewerb der »weißen« und »grünen« Kohle entgegentreten. Dieser Umstand mindert die wirtschaftlich zulässigen Entfernungen auf vielleicht 40 bis 50 km herab. An der Kraftanlage der Urfttalsperre (Eifel) ist zum ersten Male in Deutschland eine Stromspannung von 35 000 Volt (Drehstrom) in Betrieb; die Fernleitung geschieht auf 20—30 km[2]).

1) Vgl. auch Abschn. Amerika (VG.)
2) Siehe die unten folgende Beschreibung.

Diese Erörterung führt zu der Frage der wirtschaftlichen Grenze der Fernübertragung der Kräfte. Das Streben geht auf immer höhere Stromspannungen hinaus, um an Energieverlusten und an Masse in den Kupferdrähten zu sparen[1]). In diesem Vorwärtstasten und Forschen ist allerdings die Erkenntnis noch keine klare. »Im Gegensatz zu Ryan — schreibt die Elektr. Ztg. 1905 S. 169 —, der zu dem Schlusse gelangt, daß für die Grenze der Übertragungsweite die Größe der Energieverluste in der Fernleitung maßgebend sind, zeigt der Amerikaner Mershon, daß jene Grenze durch den Preis des Leitungskupfers bestimmt wird.« Diese Untersuchung Mershons — angestellt unter voller Berücksich-

Tabelle 25. Neuere elektrische Kraftübertragungen von Wasserkräften.

Jahr	Von	nach	Land	Entfernung km	Kraft-Leistung PS.	Übertragungsspannung am Ende Volt
1897	Crofton	—	Kalifornien	—	—	33 000
1897	Redlands	—	»	—	—	33 000
—	—	Bangalore	Indien	147	4 300	35 000
1898	Provo	—	Utah	51	—	40 000
—	Gromo	Nembro	Lombardei	35	3 300	40 000
—	Logan	Salt Lake City	Utah	240	2 600	40 000
—	Canyon Ferry	Butte	Missouri	112	5 700	50 000
—	Shawinigan	Montreal	Kanada	144	15 000	50 000
—	Moutiers	Lyon	Frankreich	180	6 000	57 600
—	Spokane	Washington	—	160	3 000	60 000
—	—	Guanaguato	Mexiko	167	4 000	60 000
—	Electra	San Francisco	Kalifornien	235	10 000	60 000
—	Colegate	Stockton	»	346	5 000	60 000

tigung der Anlage-, Unterhaltungs-, Tilgungs- und Betriebskosten — führt zu dem Ergebnis, daß eine Leistung von 200000 bis 300000 KW. noch auf 820 bzw. 1000 km übertragen werden kann, wobei allerdings mit einer Übertragungsspannung von 150000 bis 200000 Volt gerechnet wird, die man jedoch heute schon für praktisch durchführbar hält. Andererseits soll nach den Forschungen von Wallace die Spannungssteigerung über einen gewissen Betrag hinaus, etwa 60000 Volt, die Kosten der Übertragung nur wenig herabmindern. Doch sind in neuester Zeit (1904) von der Kern-River Kraftgesellschaft (Kalifornien) Versuche mit der Übertragung mittels 80000 Volt auf 200 km Entfernung gemacht

1) Auf der Ausstellung in Mailand 1906 war ein Kabel für 100000 Volt Betriebsspannung, das mit 150000 Volt geprüft war, ausgestellt.

Tabelle 26.

Kupfer- bzw. Aluminiumverbrauch in amerikanischen Hochspannungskraftübertragungen[1]).

Übertragungsstrecke	Entfernung km	Übertragungsspannung Volt	Volt auf 1 km	Leistung der Generatoren KW.	Gewicht der Fernleitung für 1 KW.-Maschinenleistung kg	Gewicht der Fernleitung für 1 KW./km kg	Anzahl der Drähte	Kosten der Leitung ohne Gestänge für 1 KW. Generatorenleistung Mk.	Bemerkungen.
Colgate nach Oakland, Cal.	227	60 000	264	11 250	36,7 18,1*)	0,15 0,07	3	101,20	Einheitspreis:
Cañon Ferry nach Butte, Mont. . . .	104	50 000	580	5 700	52,1	0,45	6	72,45	1 kg Kupfer
Santa Ana-River nach Los Angeles. .	133	33 000	250	2250	133,6	0,94	6	185,90	= 33 Pf.,
Ogden nach Salt Lake City, Utah . .	58	16 000	280	22 50	58,4	0,94	6	81,30	1 kg Aluminium
Madrid nach Bland, N.M..	50	20 000	400	600	96,0	1,8	6	133,60	= 66 Pf.
Welland Canal nach Hamilton, Can. .	58	22 500	390	6 000	28.5	0,46	3	39,70	
San Gabriel Cañon nach Los Angeles	40	16 000	400	1 200	27,6	0,7	6	41,40	*) Aluminium.
Cañon City nach Cripple Creek, Colo.	41	20 000	490	1 500	17,7	0,43	3	24,57	
Apple River nach St. Paul, Minn. . .	40	25 000	620	3 000	14,9	0,57	6	33,50	
Yadkin River nach Salem, N.C. . . .	23	12 000	520	1 500	17,7	0,7	3	24,57	
Into Victor, Colo.	13	12 600	970	1 600	4,5	0,24	3	6,30	
Montmorency Falls nach Quebec . .	12	5 500	460	2 400	35,8	3,0	—	49,80	
Farmington River nach Hartford. . .	18	10 000	550	1 500	16,3	0,86	3	45,36	
Sewall's Falls nach R. R. shops Concord.	9	10 000	1100	450	6,8	0,73	—	9,45	
Wilbraham nach Ludlow Mills . . .	8	11 500	1440	4 600	1,7*)	0,23	6	4,62	
White River nach To Dales, Ore. . .	43	22 000	510	1 000	15,4	0,32	3	21,40	

1) Zusammengestellt vom Verfasser nach Adams, Electrical Transmission of Water Power.

worden und 67 500 Volt bei 10000 PS. Leistung sollen der praktischen Ausführung zugrunde gelegt werden.

Eine Übersicht über den Kupfer- und Aluminiumverbrauch in einer Anzahl amerikanischer Fernübertragungen gibt die Tab. 26.

Ausbau des Kraftwerkes für elektrische Zwecke.

Zur Ergänzung der Darlegungen über die Einrichtung des Kraftwerkes in Abschnitt III C möge noch kurz folgendes bemerkt werden:

Bei dem Ausbau einer Kraftanlage für elektrischen Betrieb wird man sich vergegenwärtigen müssen, daß der wichtigste Punkt des Unternehmens die Erreichung größtmöglichster Betriebssicherheit ist, da meist ausgedehnte Gewerbebetriebe und viele kleine Werkstätten und Beleuchtungsanlagen an die Zentrale angeschlossen sind. Das bedingt ein sicheres Arbeiten der Maschinen und Zuverlässigkeit des Übertragungs- und Verteilungsnetzes und gute Gleichmäßigkeit des Stromes, vor allem zur Schaffung eines ruhigen Lichtes. Daneben dürfen naturgemäß die Betriebskosten und die Einfachheit des Betriebes nicht außer acht bleiben. Als eine wesentliche Bedingung wird gelten müssen, die Generatoren mit den Turbinen unmittelbar zu kuppeln. Neben dem Raume für diese Maschinen ist bei Drehstromanlagen der Platz vorzusehen für Aufstellung einer Gleichstrommaschine, oder für eine Akkumulatorenbatterie, die den Erregerstrom zu liefern haben. Diese kleinen Erregermaschinen werden meist durch besondere Turbinen angetrieben. Mitunter wird die Gleichstrommaschine zur Erregung auf derselben Welle mit der Hauptturbine und dem Generator angeordnet.

Falls die Umwandlung einer Stromart in die andre notwendig ist, sind entsprechende Umformergruppen aufzustellen, wie dies z. B. bei den Elektrizitätswerken der Stadt Schaffhausen a. Rh. geschehen ist (Abb. 185)[1]. Eine eigenartige Vereinigung beider Strommaschinen hat das Elektrizitätswerk Gersthofen aufzuweisen, indem auf gleicher Welle mit der Turbine eine Gleichstrom- und eine Drehstrommaschine gekuppelt ist (Abb. 186). Man traf diese Anordnung, um an Anlagekapital zu sparen. Im Betriebe des Werkes werden beide Stromarten benutzt; wofür 2 Gleichstrom- und 2 Drehstromdynamos vorhanden sind.

1) El. Werke Schaffhausen 1903.

Der erwähnte vereinigte Maschinensatz bildet nun die Reserve für beide Fälle[1]).

Für die Schalttafel ist Übersichtlichkeit und Einfachheit notwendig. Die Apparate an der Vorderseite dürfen nur niedrig gespannten Strom führen und alle Hebel sind sorgfältig zu isolieren. Kraft und Lichtstrom werden meist voneinander getrennt. Neben der Abgabe in die Hauptleitungen kann es sich im gegebenen Falle empfehlen, vom Schaltbrett

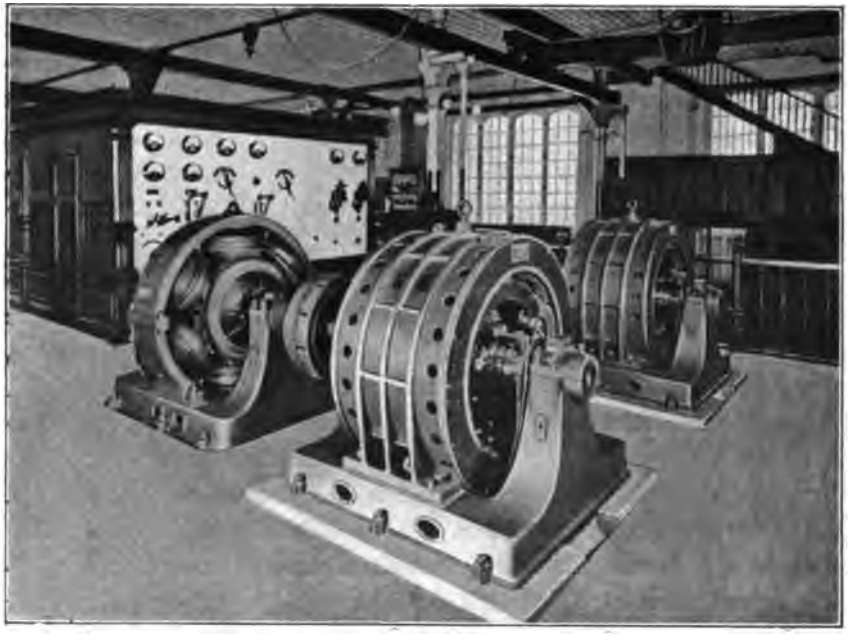


Abb. 185. Umformergruppen für die Umformung von Drehstrom in Gleichstrom im Elektrizitätswerk der Stadt Schaffhausen a/Rh.

Die Drehstrommotoren sind für eine Leistung von 150 PS. bei 490 Umdrehungen in der Minute und für einen Bestriebsstrom von 2000 Volt Spannung gebaut. Der gewonnene Gleichstrom dient für den Straßenbahnbetrieb und hat 550 Volt Spannung. Einer der beiden Umformer ist immer in Reserve. Die Motoren stehen in der unteren Wasserkraftzentrale der Stadt (s. Abb. 39).

ab unmittelbare Leitungen an Großabnehmer abgehen zu lassen. Die Regulierung der Maschinen muß vom Schaltbrett aus möglich sein. Es ist gut, wenn von hier aus ein freier Überblick über den ganzen Maschi-

1) B. Ind. u. Gew. Bl. 1904.

nenraum vorhanden ist. Deshalb findet man oft einen erhöhten balkonartigen Aufbau für die Unterbringung der Schalteinrichtungen und Meßapparate (Abb. 187 und 188)[1]).

Der elektrische Ausbau des Kraftwerkes in seinen Einzelheiten, die Anlage von Unter- und Umformerstationen, in denen der Strom von hoher in niedere Spannung oder Drehstrom in Gleichstrom und umgekehrt umgeformt wird, die Einschaltung von Akkumulatoren in das Betriebsnetz, der Ausbau des Übertragungs- und Verteilungsnetzes und die Einrichtungen der Stromabgabe an die Gebrauchsstellen — alles das sind Aufgaben, die nicht in den Rahmen dieser Abhandlung fallen.

Abb. 186. Gleichstrom- und Drehstromdynamo auf gemeinsamer Welle mit der Turbine im Elektrizitätswerk Gersthofen.

Das Werk (6000 PS.) arbeitet zur Hälfte mit Gleichstrom für elektrochemische Zwecke, zur Hälfte mit Drehstrom für Fernübertragung. Die Vereinigung beider Strommaschinen mit einer Turbine dient als gemeinsame Reserve.

Einigen Anhalt für die Beurteilung der maßgebenden Erfordernisse werden die Erörterungen und Abbildungen der vorhergehenden Abschnitte bilden. Für den Ausbau der Kraftverteilungsanlagen sei auf die Darlegungen im nächsten Kapitel Bezug genommen. Weiteren Auf-

1) Nach Adams Electr. Transm.

schluß geben die Werke von v. Miller »Die Versorgung der Städte mit Elektrizität«, die in Form von Statistiken gehaltenen Bücher von F. Hoppe u. a., auf die hier verwiesen werden muß.

Wahl des Betriebsstromes.

Als Stromart ist heute der Wechselstrom meist in Form von Drehstrom üblich, doch scheint der Gleichstrom für die Zwecke der hohen Spannungen und weiten Entfernungen nicht ohne Zukunft zu sein.

Bei den Versuchen der Compagnie de l'Industrie Électrique et Méca-

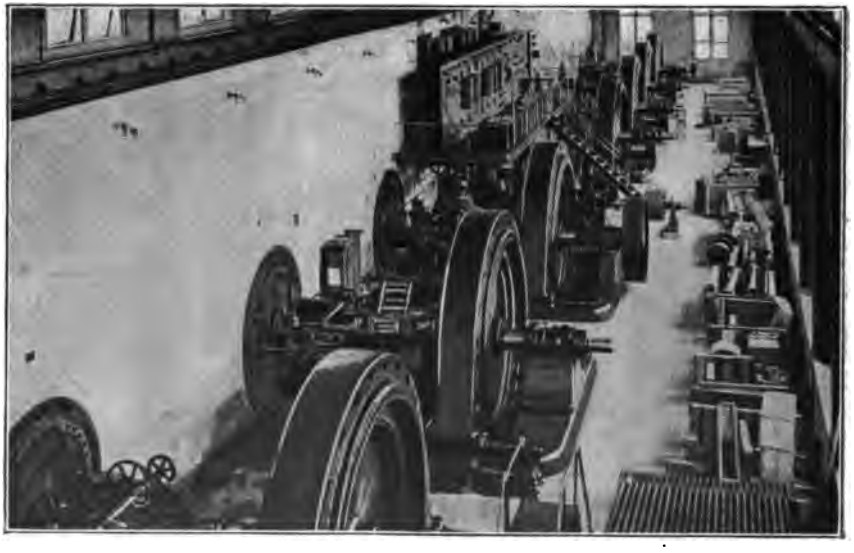


Abb. 187. Generatorenraum mit Schaltbrett auf balkonartigem Ausbau im Kraftwerk zu Mechanicsville am Hudson-Fluß.

nique in Genf galt es die Frage zu untersuchen, ob es möglich wäre, Wasserkräfte, welche infolge ihrer Abgelegenheit bisher zur Kraftübertragung mit Wechselstrom noch nicht ausgenutzt werden konnten, durch eine Kraftübertragungsanlage mit hochgespanntem Gleichstrom zu verwerten. Die Versuche wurden mit Spannungen bis 70000 Volt ausgeführt, es wurden 60—70 KW. übertragen und man folgerte, daß man mit 10 v. H. Verlust und mit einem Kupferaufwand von 30 kg für 1 PS. Entfernungen von 335 km und bei 30 v. H. Verlust 1000 km überwinden könne. Man glaubt hiernach mit Gleichstrom unter durchaus wirtschaft-

lichen Betriebsbedingungen doppelt so große Übertragungsweiten erreichen zu können, als es bisher bei Wechsel- oder Drehstrom möglich war[1]). Auch die Voruntersuchungen für die Ausnutzung der Viktoria-Fälle des Zambesi haben für hohe Spannungen dem Gleichstrom aus Betriebsgründen den Vorzug gegenüber dem Wechselstrom gegeben[2]). In der Schweiz und in Italien sind schon einige Kraftübertragungen mit hochgespanntem Gleichstrom ausgeführt worden. Bei dem Übertragungswerke St. Maurice-Lausanne (zurzeit 5000 PS., im ganzen 15000 PS. zur Verfügung) sind 12 Gleichstromdynamos, die je 2250 Volt Spannung liefern, hintereinander geschaltet, so daß in der 56 km langen Fernleitung

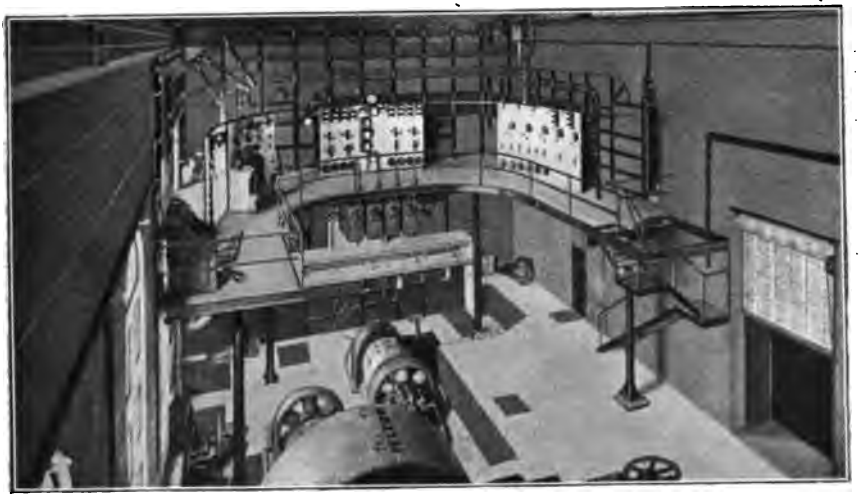


Abb. 188. Schalttafel des hydro-elektrischen Kraftwerkes am Puyallup-Fluß, Wash. Der Primärstrom hat 2300 Volt Spannung, die auf 60000 Volt erhöht wird. Leistung der Kraftübertragung: 20000 PS. auf 40 bzw. 75 km. Schaltbühne auf galerieartigem Ausbau.

nach Lausanne die Spannung auf 27000 Volt steigen kann[3]). Die Kraftübertragung Moutiers-Lyon — gegenwärtig in Ausführung — wird ebenfalls Gleichstrom von 57600 Volt haben, wobei 8 Einheiten von 7200 Volt hintereinander geschaltet sind[4]). Über weitere Anlagen dieser Art s. Tab. 27.

1) E. T. Z. 1904 S. 841.
2) E. T. Z. 1905 S. 1162.
3) Wagenbach, Turbinenanlagen.
4) Le Génie Civil 1905.

Das Wesen des Hochspannungsgleichstroms besteht in der Hintereinanderschaltung einer Reihe von Gleichstrommaschinen kleiner Spannung, da einzelne Gleichstrommaschinen nur für Spannungen von etwa 3000 bis 5000 Volt hergestellt werden können. Die Entnahme am Verbrauchsort erfolgt gleichfalls durch eine Reihe von Motoren kleiner Spannung. Die Summe der Einzelspannungen gibt die Gesamtspannung. Das hat die praktische Bedeutung, daß sich der Hochspannungs-

Tabelle 27. Gleichstrom-Hochspannungsanlagen der Compagnie de l'Industrie Électrique et Mécanique in Genf[1]).

Zeit der Inbetriebsetzung	Anlage	Anzahl der Dynamos	Pferdestärken PS.	Höchste Spannung Volt	Entfernung km	
1889	Soc. Acquedotto Ferrari Galliera, Genua	18	1 260	14 000	60	*) Verteilungsgebiet
1891	Wasserwerke Zug, Schweiz . .	5	600	8 000	24*)	
1893	Papierfabrik Biberist, Schweiz.	2	370	6 800	18,5	
1895	Gemeinden Val de Travers, Fleurier, Noiraigue, Travers Couvet, Schweiz	4	875	9 100	35*)	
1895	Gesellsch. f. el. Bel. Brescia, Ital.	5	850	10 500	26	
1895	Forces motrices de la Grande Eau, Aigle, Schweiz	4	1 000	14 000	18	
1896	Elektrizitätswerke Eisenburg, Ungarn (I. Linie)	6	900	9 000	65*)	
1896	Gesellschaft Rieti, Italien. . .	4	500	12 000	30	
1896	Papierfabrik Vasco-Belga Renteria, Spanien	5	1 270	13 280	14	
1896	Gemeinden La Chaux de Fonds und Du Locle, Schweiz . .	8	2 700	12 500	26	
1899	Elektrizitätswerke Eisenburg, Ungarn (II. Linie)	4	600	10 000	120*)	
1899	Dunand, Rußland	2	200	2 600	10	
1900	Bleibergwerk Linares, Spanien	3	960	10 500	30	
1901	St. Maurice-Lausanne, Schweiz	12	5 000	27 000	56	Isère
1906	Moutiers-Lyon, Frankreich . .	16	6 300	57 600	180	65 m Gef.

gleichstrom für die Übertragung nur eignet, wenn ein langer gleichmäßiger Kraftbedarf vorhanden ist, wie z. B. im Straßenbahnbetriebe. Darin liegt eine Beschränkung dieser Stromart gegenüber dem Wechselstrom.

Die Wahl des Gebrauchsstromes — Gleichstrom oder Wechselstrom (Drehstrom) — hängt aber nicht nur von der Übertragungslänge, sondern auch von dem Bedarf des Abnehmerkreises ab.

1) E. T. Z. 1906 S. 1091.

Es mag, ohne daß auf diesen Gegenstand hier näher eingegangen werden soll, von allgemeinem Interesse sein, in einigen praktischen Fällen die Gründe für die Wahl der Stromart kennen zu lernen[1]).

Wahl der Stromart für das Elektrizitätswerk Solingen.

Bei dem Wasserkraft-Elektrizitätswerk der Stadt Solingen beträgt die Entfernung zwischen der Primärstation und dem Schwerpunkt des elektrischen Kabelnetzes der Stadt rund 6 km[2]). Diese beträchtliche Länge wies auf die Anwendung hoher Spannung hin. Da sich nun diese bei Wechselstrom einfacher und sicherer erzeugen und für den Gebrauch durch einfachere Vorrichtungen auf eine mäßige Höhe umschalten läßt als bei Gleichstrom, so wurde der erstere, und zwar in Form von Drehstrom (5300 Volt) gewählt. Diese Stromart gestattet gute und billige Motoren, billige Leitungen und ermöglicht den gleichzeitigen Betrieb der Lichterzeugung. Außerdem fiel ins Gewicht, daß in der Stadt bereits eine Anzahl Motoren arbeiten, die von einem vorhandenen privaten Elektrizitätswerk mit Drehstrom angetrieben wurden. Der spätere Anschluß dieser Betriebsstätten an das städtische Werk mußte aber offen gehalten werden.

Für die Stromverteilung in der Stadt kamen zwei Systeme in Betracht:

1. Drehstrom für Kraft- und Beleuchtungszwecke in zwei getrennten Netzen bei 220 Volt Spannung. Die Speisung beider Netze erfolgt durch ein Hochspannungsnetz, an welches die Transformatoren angeschlossen sind. Letztere stehen in den Speisepunkten der beiden Verteilungsnetze.

2. Für motorische Zwecke wird Drehstrom, in der Weise wie vorher, verteilt. Die Lichterzeugung erfolgt durch Gleichstrom. Zu diesem Zwecke wird der hochgespannte Drehstrom der Fernleitung mittels Motorgeneratoren in einer innerhalb der Stadt gelegenen Unterstation in Gleichstrom umgeformt und durch ein Dreileiternetz mit 220 Volt verteilt. Die Unterstation wird mit einem Akkumulator ausgerüstet.

Hinsichtlich des Für und Wider dieser beiden Systeme für den vorliegenden Fall sei kurz erwähnt:

---

1) Gesichtspunkte für die Wahl der Stromart und Spannungen s. auch Stahl und Eisen 1907 S. 255.

2) Denkschrift zur Einweihung der Sengbach-Talsperre.

Die Betriebssicherheit konnte bei guter Ausführung in beiden Fällen als hinreichend angesehen werden.

Bei Gleichstrom würde sie insofern größer sein, als bei Betriebsstörungen in der Primärstation oder in der Fernleitung durch den Akkumulator für einige Stunden die Stromunterbrechung ausgeglichen und den Konsumenten das Licht erhalten bliebe. Im Drehstrombetriebe würde diese Aushilfe nicht vorhanden sein. Für den Motorenbetrieb würde jedoch auch dann eine Unterbrechung in der Stromzufuhr eintreten, indessen kann dieser Schaden vielleicht geringer bewertet werden als die plötzliche Dunkelheit für den geschäftlichen Verkehr.

Bei Verwendung von Gleichstrom erschien ein ruhiges Licht gesichert, da die in das Lichtnetz gelieferte Spannung durch die Batterie der Unterstation völlig gleich erhalten wird. Bei Drehstrom würde selbst bei Vorhandensein getrennter Verteilungsnetze für Licht und Motorenbetrieb eine Beeinflussung des Lichtes durch den Motorenbetrieb und dadurch veranlaßte Spannungsschwankungen bei In- und Außerbetriebsetzen der Motoren nicht ganz zu vermeiden sein. Diese Spannungsschwankungen werden jedoch für gewöhnlich geringfügig bleiben und nur unter besonders ungünstigen Umständen merkbar werden, im besonderen da die Stärke der Motoren im allgemeinen 3 PS. nicht übersteigt. Es liegt die technische Möglichkeit vor, diese Schwankungen in den Grenzen von 1,5—2 v. H. zu halten, die für die Lichtstärke als unschädlich angesehen werden können[1]). Auch kam hinzu, daß der Betrieb der meisten Elektromotoren um 6 Uhr abends beendigt ist, so daß an den Winterabenden eine nennenswerte Beeinflussung nicht vorhanden ist. Der Gleichstrom würde zwar für die Abnehmer in den Bogenlampen günstigere Lichtausbeute ergeben, für Glühlicht jedoch sind beide Stromarten in ihrer Wirkung als völlig gleich zu betrachten.

Das Kabelnetz wird bei Lieferung von Gleichstrom für Licht umfangreicher. Es treten zu den Verteilungsleitungen noch die Speiseleitungen für Gleichstrom.

Die Anlagekosten des Elektrizitätswerkes würden bei Gleichstrom infolge des Ausbaues der Unterstation in der Stadt um 12—15 v. H. höher sein. Dazu kommt der in diesem Falle dezentralisierte Betrieb. Die

---

1) Für den Motorenbetrieb sind als maximale Spannungsverluste in dem Verteilungsnetz 5 v. H. zugelassen.

Unterstation erfordert besonderes Personal. Die Betriebskosten konnten dafür um 20 v. H. höher als bei Drehstrombetrieb veranschlagt werden.

Wenn hiernach zwar hinsichtlich der Zuverlässigkeit und Güte der Beleuchtung das System der Umformung auf Gleichstrom dem reinen Drehstromsystem etwas überlegen ist, so konnten diese Vorteile gegenüber den sonstigen Vorzügen des letzteren Systems doch nicht den Ausschlag geben und es wurde das reine Drehstromsystem gewählt, dessen einfache Betriebsweise besonders besticht und das alle billigen Ansprüche hinsichtlich der Güte des Lichtes erfüllt[1].

Vergleichende Untersuchung über die elektrische Kraftübertragung vom Talsperren-Kraftwerk auf dem Geiersberge bei Nordhausen nach dem 1,5 km entfernten Elektrizitätswerke in der Stadt.

Leistung 170 PS., Übertragungslänge 1,5 km.

Für die Wahl des Stromsystems wurden die Anlagekosten und Betriebsverhältnisse einer Drehstrom- und Gleichstromübertragung in Vergleich gestellt. Das vorhandene Elektrizitätswerk, nach welchem die Fernleitung stattfinden sollte, arbeitet mit Gleichstrom für Kraft, Licht und Straßenbahnbetrieb, und es wurde für die Drehstromübertragung angenommen, daß der Drehstrommotor in dieser Zentrale 2 Gleichstrom-Dynamos antreiben soll, wodurch es möglich wurde, die Wasserkraft gleichzeitig für Licht- und Bahnzwecke auszunutzen. Dementsprechend sollten auch beim Gleichstromprojekt im Wasserkraftwerke 2 Gleichstrom-Dynamos zur Aufstellung kommen, die je durch eine besondere Leitung mit der Zentrale verbunden sind, um den gleichen Betriebsvorgang zu ermöglichen. Die Leitungen sollten in beiden Fällen den gleichen Weg gehen und als unterirdische Kabel verlegt werden. Die Drehstromübertragung wurde mit 3000 Volt Spannung und für Gleichstrom die Gebrauchsspannung (220 V.) unmittelbar zur Übertragung vorgesehen. Der Leitungsquerschnitt der Gleichstromübertragung war zu 95 qmm für Licht und 70 qmm für Bahnstrom, für Drehstrom zu 3×10 qmm angenommen. Für die Fernsprechverbindung zwischen der Zentrale und dem Wasserkraftwerk sollte beim Gleichstromprojekt der

1) Näheres über die maschinelle und elektrische Einrichtung des Werkes s. Zeitschrift für Bauwesen. 1904 S. 639.

Prüfdraht des Bahnkabels dienen, während bei Drehstromübertragung eine eigene Fernsprechleitung vorgesehen war.

Die Anlagekosten der elektrischen Ausrüstung ergaben sich bei Drehstrom und Gleichstrom mit rund 37000 Mk. nahezu gleich. Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit war die letztere Übertragungsart vorzuziehen. Die Verluste in der Fernleitung würden bei Gleichstrom etwa 10 v. H., bei Drehstrom bei der in diesem Falle notwendigen Umformung etwa 20 v. H. betragen. Da das Gleichstromprojekt außerdem noch eine Betriebsvereinfachung und die vorteilhafte Möglichkeit bot, unmittelbaren Gebrauchsstrom in der Nähe des Wasserkraftwerkes abzugeben, so wurde diese Betriebsart zur Ausführung bestimmt. Man erkennt, wie unter

Angenommene Wirkungsgrade in Hundertsteln.

	Drehstrom	Gleichstrom
Dynamo	90	90
Fernleitung	95	90
Umformung Drehstrom (Gleichstrom)	85	—
Gesamtverluste	30	20

den besonderen Verhältnissen des Einzelfalles die Vorteile des geringeren Kupferverbrauchs der Fernleitung bei hochgespanntem Drehstrom durch die Nachteile der Umformung im Vergleich mit dem einen stärkeren Leitungsquerschnitt beanspruchenden Gleichstrom aufgewogen werden können.

Vergleichende Voruntersuchung über die Fernübertragung von 20000 PS. auf 136 km mit Wechselstrom (Drehstrom) oder Gleichstrom für das Kraftwerk an der Albula[1]).

Bei dem im Bau begriffenen Kraftwerk der Stadt Zürich an der Albula handelt es sich um die Übertragung von 20000 PS. auf 136 km. Die Energieübertragung auf so große Entfernung ist sowohl mit Wechselstrom (Drehstrom) als mit Gleichstrom möglich. Beide Arten der Übertragung wurden daher zum Gegenstand eines eingehenden Studiums gemacht, dabei galt als oberster Gesichtspunkt möglichste Betriebssicherheit und Einfachheit der Anlage.

1) Zusammengestellt nach der freundlichst überlassenen Denkschrift: Die Erstellung einer elektrischen Kraftübertragungsanlage an der Albula für die Stadt Zürich. Zürich 1904.

A. Drehstromentwurf. Das Drehstromprojekt hat folgende Grundlage:

Die Maschineneinrichtung besteht aus 12 Turbineneinheiten von je 2000 PS. eff. Leistung, von denen 2 als Reserve dienen. Die Drehstromgeneratoren von 1400 KW. Leistung und 300 Umdrehungen sind mit den Turbinen unmittelbar gekuppelt. Maschinenspannung 6900 Volt. Übertragungsspannung 46000 Volt. Eine bestehende Dampfanlage bei Zürich soll als Reserve dienen. Die Fernübertragung besteht aus 4 Leitungen von je 3 Drähten zu je 50 qmm Querschnitt. Je 2 Leitungen von zusammen 6 Drähten sind auf einem Gestänge montiert. Die Führung der Fernübertragung erfolgt auf 2 von einander völlig unabhängigen Gestängen.

Die theoretische Leistungsberechnung ergibt:

Effektive Leistung an den Turbinenwellen . . .	=	20000 PS.
Leistung der Generatoren unter Annahme einer Nutzwirkung von 95 v. H.: 20000 · 0,95 · 0,736 . .	=	14000 KW.
Wirkungsgrad der Transformierung auf eine Spannung von 46000 Volt 98 v. H.: 14000 · 0,98	=	13700 KW.
Verlust in der Fernleitung 12 v. H. Am Ende der Hochspannungsleitung in Zürich verfügbar . .	=	11800 KW.

Kosten

a. Kosten der elektrischen Anlage.		
Zentralstation	=	1291000 Mk.
Fernleitungsanlage	=	3291000 »
Bauzinsen	=	120000 »
Bauleitung und Verschiedenes.	=	238000 »
		4940000 Mk.
b. Kosten der hydraulischen Anlagen		3480000 »
		8420000 Mk.

Die Gestehungskosten für 1 KW. und Jahr stellen sich bei Drehstrom nach dem vollen Ausbau der Anlage in Zürich auf 71 Mk. bezogen auf die Gesamtkosten.

B. Gleichstromentwurf. Die zweite Übertragungsmöglichkeit bestand in der Anwendung hochgespannten Gleichstroms nach dem Reihenschaltungssystem. Die Turbinen sind bei dieser Anordnung für 2250 PS. eff. Leistung und 375 Umdrehungen in der Minute gebaut. Es

sind 11 Turbinen vorgesehen, davon 2 zur Reserve. Die Generatorleistung ist je 1540 KW. Die Spannung an den Generatoren beträgt 8800 Volt, in der Fernleitung 79500. Generator und Turbine sind durch elastische, isolierende Kuppelung verbunden. Die in der Generatorstation erzeugte Energie wird auf 2 getrennten Gestängen, von denen jedes 2 Kabel trägt, nach Zürich geleitet und daselbst durch rotierende Gleichstrom — Drehstrom — oder Gleichstrom — Wechselstromumformer in Drehstrom von 6000 Volt und Wechselstrom von 2000 Volt umgewandelt. Gesamtquerschnitt der Leitung 72 qmm.

Die theoretische Leistungsberechnung ergibt:

Leistung der Turbinen 9×2250 PS. . . . . = 20250 PS.

Leistung der Generatoren $20250 \cdot 0{,}736 \cdot 0{,}93$ . . = 13900 KW.

Konstante Stromstärke 175 Ampère

Spannung $\frac{13900000}{175} = 79500$ Volt.

Energieverlust in der Fernleitung rd. 15 v. H. Am Ende der Fernleitung in Zürich verfügbar . . . 11900 KW.

Nach der Umformung unter Annahme eines Wirkungsgrades von 0,93 für die Motoren und 0,95 für die Generatoren $11900 \cdot 0{,}93 \cdot 0{,}95$ . . . . . = 10500 KW.

Kosten:

a. Kosten der elektrischen Anlage.

Zentralstation	= 1276000 Mk.
Fernleitung	= 1570000 »
Umformerstationen	= 1230000 »
Bauzinsen	= 120000 »
Bauleitung und Verschiedenes.	= 204000 »
	4400000 Mk.
b. Kosten der hydraulischen Anlagen	= 3480000 »
	7880000 Mk.

Die Gestehungskosten für 1 KW. und Jahr stellen sich beim Gleichstromprojekt nach dem vollen Ausbau der Anlage in Zürich auf 65 Mk. bezogen auf die Gesamtkosten.

Ergebnis der Untersuchung. Die Untersuchung ließ erkennen, daß für das Albulawerk die Gleichstromübertragung der Drehstromübertragung technisch und wirtschaftlich überlegen ist. Als charakteristischer Vorteil des ersteren Systems wird der Fortfall schwieriger Schalt-

anlagen und der Transformatoren sowie die Einfachheit der Fernleitung und des Betriebes hervorgehoben. Der Ausbau des Maschinengebäudes wird dementsprechend einfacher. Bei der Gleichstromanlage wird die Anzahl der Leitungsdrähte verringert und die Gefahrstellen und die Durchbruchgefahr vermindert. Gegen das Gleichstromsystem wird die Notwendigkeit der Anlage von Umformerstationen hervorgehoben, die hohe Kosten und ständige Wartung erfordern. Nach den Betriebskosten stellt sich trotzdem das Gleichstromsystem vorteilhafter.

Die Untersuchung kommt zu dem Ergebnis, daß das Gleichstromsystem sich allerdings weniger zur unmittelbaren Verteilung als das Drehstromsystem eignet. Wo es sich aber, wie im Falle des Albulawerkes, um den Transport einer bedeutenden Energiemenge über eine große Entfernung handelt und wo die Energie von einem oder wenigen Zentralpunkten aus zur Verteilung gelangt, ist die Gleichstromübertragung derjenigen mit Wechselstrom unbedingt überlegen, vor allem in zwei ausschlaggebenden Punkten: sie ist billiger und sie gewährt ungleich höhere Betriebssicherheit. Es wurde daher die Ausführung nach dem Gleichstromsystem empfohlen.

Sicherung des Betriebes und Einrichtung der Fernleitungen.

Es kann nicht in Abrede gestellt werden, daß die Kraftübertragung mit dünnen Drähten auf Hunderte von Kilometern durch bewaldete und rauhe Gebirgszüge und sonst entlegene Gegenden einige Betriebsunsicherheit in sich schließt wegen der Gefahren durch Blitzschäden an Freileitungen und mutwillige Zerstörungen, wenn man zwar durch Blitzschutzvorrichtungen und doppelte Leitungen den Betriebsstörungen nach Möglichkeit entgegen arbeiten kann. Man wird in dieser Hinsicht vorsichtig sein müssen, wenn große Betriebe oder vielverzweigte kleine Einzelanlagen an die Kraftwerke angeschlossen sind, und wenn man genaue vertragliche Bestimmungen zu erfüllen hat. Bei kürzeren Strecken hat man deswegen wohl Kabel gewählt, wenn dadurch auch erhebliche Mehrkosten entstehen. Kabel werden heute verlegt für eine Spannung bis 30000 Volt und haben sich bewährt. Die Nutzbarkeit einer noch größeren Beanspruchung dürfte sich erzielen lassen. [1]) Das Kabel des

[1]) Über Kabel für sehr hohe Spannungen. Journ. f. Gasbel. und Wasservers. 1906 S. 1071. Über Hochspannungskabel s. Zeitschr. d. V. deutsch. Ing. 1908 S. 395.

Shawiningan-Werkes im St. Lorenzfluß hat 25 000 Volt.[1]). Bemerkenswerte Verhandlungen sind über die Sicherheit des Betriebes in der neuesten Zeit in San Francisco gepflogen worden[2]). Dort besteht für Kraftabgabe eine Gesellschaft, die den Strom von einigen tausenden Pferdestärken aus Wasserkraftanlagen entnimmt, von denen keine näher als etwa 220 km der Stadt liegt. Diese Gesellschaft beabsichtigte, um eine bessere Ausnutzung ihrer Anlagen zu erzielen, die Lieferung von Kraftstrom für die Straßenbahnen. Dabei hielt man zur größeren Sicherheit des Verkehrs eine Aushilfe am Ort für notwendig und wählte dazu Gaskraft mit dem Hinweis, daß Dampfmaschinen nicht wohl immer betriebsbereit gehalten werden könnten und bei etwaigen Stromunterbrechungen ihre Anheizung 1—1 ½ Stunden erfordere. An anderen Orten hat man jedoch Dampfanlagen eingerichtet oder in Unterstationen Akkumulatoren aufgestellt, die in Zeiten geringeren Strombedarfs gespeist werden und dann imstande sind, bei Unfällen mit selbsttätiger Einschaltung die Stromlieferung für einige Stunden zu besorgen. Auch weist Amerika Beispiele auf, wo mehrere Wasserkraftwerke mit verschiedenen Leitungen in ein Verteilungsnetz arbeiten, wie dies auch in großen Verbrauchsgebieten, die in Einzelkraftwerke geteilt sind, bei Dampfelektrizitätswerken der Fall ist, und wodurch man eine erhöhte Sicherheit nicht nur bei plötzlichen Stockungen hat, sondern auch — bei Wasserkraftzentralen — gegen Schwankungen der Wasserkräfte in trocknen Zeiten in verschiedenen Niederschlagsgebieten. Ähnliche Verhältnisse finden sich in der Schweiz, deren weitverzweigtes Kraftverteilungsnetz die gegenseitige Aushilfe der Elektrizitätswerke leicht ermöglicht. In Deutschland wird eine solche gemeinsame Schaltung der Elektrizitätswerke geplant, die in Schlesien an den Talsperren von Marklissa und Mauer errichtet werden.

Es mögen hier einige Mitteilungen über Betriebsergebnisse an langen Kraftübertragungen in Kalifornien erwähnt werden, die Baum in der Denkschrift des Intern. Kongresses zu St. Louis 1904 macht[3]). Die Kalifornische Gas- und Elektrizitätsgesellschaft besitzt rd. 1200 km Leitung mit 40000 bis 50000 Volt Betriebsspannung und außerdem viele Leitungen mit geringeren Spannungen von 5000 bis 30000 Volt. Das Verteilungs-

1) Z. d. V. d. I. 1906 S. 2042.
2) Eng. Rec. 30. 9. 1905.
3 E. T. Z. 1906.

netz erstreckt sich von den Bergen der Sierra Nevada bis zur Bai von San Francisco. Die Gesamtleistungsfähigkeit ist etwa 50000 KW. Die längste Entfernung, auf welche elektrische Energie ständig abgegeben wird, beträgt 300 km. In den Gebirgsgegenden werden die Täler mit Spannweiten von 300 bis 500 m — zum Teil mit Aluminiumdrähten — überschritten.

Die Betriebsaufsicht wird ein- bis dreimal in der Woche durch Wärter ausgeübt, die wichtigen Punkten zugewiesen sind und für den Notfall

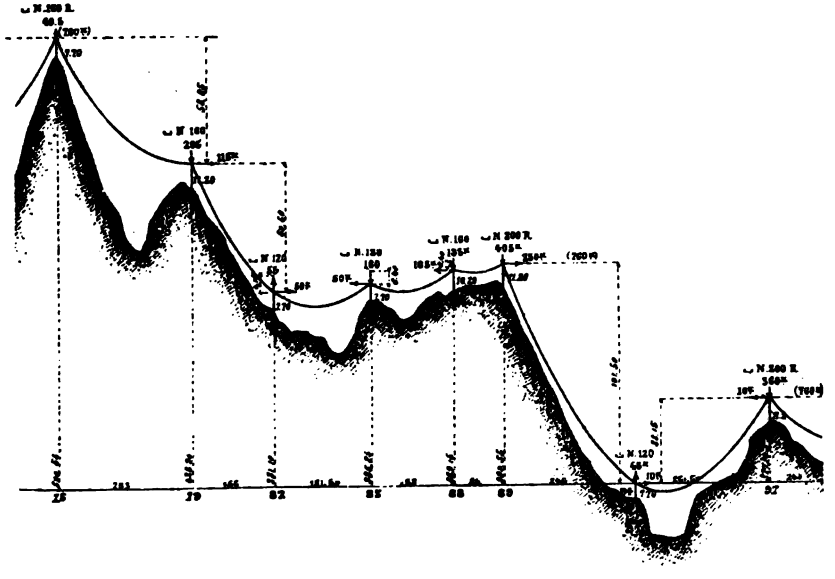


Abb. 189. Gebirgsstrecke der Kraftübertragungsanlage von Zogno am Bremboflusse nach Monza und Mailand. Gesamtlänge: 60 km.

Kennzeichnend sind die großen Spannweiten bis 280 m beim Überschreiten der Gebirgsschluchten.

jederzeit in Bereitschaft stehen. Leitungsstörungen wurden veranlaßt durch zu schwache Glocken, Schußverletzungen, Anfliegen großer Vögel (Kraniche, Gänse), Sturm und sonstige Zufälligkeiten. Die größte Schwierigkeit bereitete der Nebel, der sich in der Nähe des Ozeans und der Meeresbuchten auf die Glocken niederschlägt und die Oberflächenisolation derart verringert, daß die hölzernen Bolzen, Querträger und Maste in Gefahr geraten, Feuer zu fangen. Störungen durch Schnee sind nicht beobachtet worden, ebenso nicht durch Blitze — ein Umstand,

der auf die gute Wirkung der Schutzeinrichtungen (Hörnergattung) zurückgeführt wird. Die Transformatoren erwiesen sich als ein sehr befriedigender Teil der Anlage. Mit den hohen Spannungen bis zu 50000 Volt in den Leitungen werden große Städte durchschritten, ohne daß sich schädliche Einwirkungen auf die Fernsprecheinrichtungen ergeben hätten. Die Betriebssicherheit des Verteilungsnetzes ist nach Art

Abb. 190. Gebirgsstrecke der Fernleitung von Zogno am Bremboflusse nach Monza und Mailand.

Die Drähte spannen sich zwischen elastischen eisernen Masten, die durch Andreaskreuze verbunden sind. Leistung: 10000 PS.

der vorerwähnten Parallelschaltung mehrerer Kraftwerke wesentlich erhöht worden. Auf diese Weise war es u. a. möglich, als gelegentlich eins der Werke eine vollkommene Betriebsunterbrechung erlitt, das zugehörige Netz von einer anderen, fast 600 km entfernten Zentrale zu versorgen.

Beachtenswert sind auch die Einrichtungen der Fernleitungen an den oberitalienischen Kraftanlagen, wovon die Abb. 189 bis 191

einige Beispiele geben. Semenza[1]) hebt hervor, daß sich Italien in der Technik der elektrischen Fernübertragung zu einer besonderen Eigenart durchgearbeitet hat. Es tritt hier das Bestreben zutage, bei Wahrung vollster Betriebssicherheit mit dem geringsten Materialaufwand einen Höchstwert an Erfolg zu erzielen. Der Ausbau der Leitungen und die konstruktiven Einzelheiten sind daher außerordentlich entwickelt. Kennzeichnend sind die gerade Linienführung quer durch das Gelände und

Abb. 191. Lagunenstrecke der Fernleitung vom Cellina-Kraftwerk nach Venedig. Gesamtlänge: 90 km. Leistung: 15600 PS. Spannung: 30000 Volt.

leichte eiserne Maste, die sich billiger erwiesen haben sollen als Holzmaste.

Es darf als zweckmäßig erscheinen, neben den schon erörterten Gesichtspunkten noch einige allgemeine Ergebnisse, die für die Gesamtdisposition von elektrischen Übertragungsanlagen Beachtung finden können, in zwangloser Folge mitzuteilen. Sie dürften umsomehr bemerkenswert sein, weil sie sich aus der Praxis heraus ergeben haben und

1) Install. Hydro-Électr. de la Haute Italie. Mém. Soc. Ing. Civ. 1905.

somit die notwendigen Anforderungen, die der Betrieb erheischt, erkennen lassen[1]).

Klimatischer Einfluß. Die Erfahrung lehrt, daß die Planung und der Bau von Fernleitungen eine genaue Untersuchung der örtlichen und klimatischen Verhältnisse erfordert.

Es ist nicht nur die hohe Übertragungsspannung, die die Gefahr von Betriebsstörungen mit sich bringt, es ist auch ein wesentlicher Unterschied zwischen dem Einfluß, den trockene Bergluft und salzige und nebelige Luft am Seegestade auf die Fernleitung hat. Dabei haben sich die Isolatoren oft als ein besonders schwacher Punkt der Leitungen erwiesen, und es erscheint erwünscht — wie in den Rohrleitungen die

Abb. 192. Überführung der Fernleitung der New Hampshire-Traction-Gesellschaft über die 1400 m lange Hampton-Flußbrücke.

Verbindungsstellen der einzelnen Rohrstücke — in den Fernleitungen die Stützpunkte nach Möglichkeit zu vermeiden. Als ein Fortschritt in dieser Richtung ist der Übergang von Holzmasten zu eisernen Masten anzusehen. Dadurch können bei großer Höhe der Maste die freischwebenden Spannweiten vergrößert werden. Bei der Fernleitung Niagara—Buffalo beträgt die freie Spannweite über den Niagara 670 m, bei der elektrischen Kraftübertragung der Stadt Vancouver (Brit. Columbien) bis 840 m[2]), wie beispielsweise erwähnt werden möge.

1) Zum Teil nach: Recent Practice in Electrical Transmission of Power. The Engineer 1906 u. E. T. Z. 1906 S. 1074.

2) Z. d. V. d. Ing. 1907 S. 1322.

Doppelleitungen. Die Fernübertragung geschieht bei langen Strecken, wenn möglich, auf zwei getrennten Wegen. Diese Art der Doppelleitung ist bei neueren Überlandzentralen zur größeren Sicherheit mehrfach zur Anwendung gelangt. Dabei kann man sich für Nebenlinien und Abzweigungen nach kleinen Orten mit einfachen Leitungen begnügen.

Über die erhöhte Sicherheit, die gewonnen wird, wenn zwei gesonderte Kraftwerke parallel geschaltet in ein gemeinsames Netz arbeiten, s. S. 334.

Führung der Leitungen. Die Leitungen werden heute viel an Wegen und Chausseen geführt, um für Reparaturen jederzeit zugänglich zu sein. Für diese Zwecke ist es notwendig, daß Teile des Netzes stromlos gemacht werden können. Anfänglich wurden, besonders in Amerika, auch Bahnlinien wegen der leichten Überwachung und Unterhaltung, Abwesenheit von Baumzweigen usw. bevorzugt. Doch wurde durch den Rauch der Lokomotiven schon bei 15000 V. die Isolation gestört, im besonderen an der See, wo sich der Rauch mit dem Nebel vereinigte. Ein Beispiel für die Benutzung einer Brücke als Träger der Drähte ist in Abb. 192 gegeben.

Fernsprechleitungen. Fernsprechleitungen für die Zwecke des Betriebes können unmittelbar auf den Masten der Hochspannungsfernleitung angebracht bzw. in den Kabelgraben verlegt werden. Es empfiehlt sich in etwa 10 bis 12 km Entfernung Fernsprechstellen einzurichten, um schnelle Meldungen über Betriebsstörungen u. a. zu ermöglichen.

Transformierung. Der Einbau von Transformatoren, die den Übergang von der Hochspannung auf die Betriebsspannung vollziehen, wird nach dem tatsächlich hervortretenden Bedürfnis zu erfolgen haben. Ihre Unterbringung geschieht in eigenen Gebäuden oder gegebenenfalls in unterirdisch angelegten Räumen. Ebenso wie im Hauptverteilungsnetz wird heute auch in den Niederspannungsnetzen meist eine Trennung für Kraft- und Lichtleitung vorgesehen. Soweit als möglich wird man Auftransformierung vermeiden, weil dadurch ein neues Konstruktionsglied in der Übertragung erscheint, das vermehrte Kosten, stärkere Kraftverluste und neue Gefahrstellen mit sich bringt. Man geht heute mit den Spannungen in den Maschinen ziemlich hoch, wie die Tabelle 28 erkennen läßt. Die Valtellinabahn hat, wie ersichtlich, die höchste Spannung in

den Maschinen und Störungen aus diesem Grunde sind hier nicht ausgeblieben. Man sieht im allgemeinen eine Spannung von 15 000 V. als Grenze an, bis zu welcher die Spannung in den Maschinen für die unmittelbare Kuppelung mit der Fernleitung gesteigert werden kann. Mit Ausnahme der Valtellinabahn ist diese Spannung sonst nirgends überschritten. Einige Beispiele von Ausführungen kleiner Transformatoren, die im Betriebsnetz liegen, s. Abb. 193 bis 195[1]).

Amerikanische Ingenieure wollen aus der Erfahrung eine einfache Beziehung zwischen der Übertragungsspannung und der Länge der Übertragungsstrecke herleiten[2]). Die Entfernung, die eine wirtschaftlich noch zulässige Kostenbelastung durch den Kupferaufwand der Leitung in sich schließt, soll darnach in engl. Meilen gleich sein dem Drei-

Tabelle 28. Hohe Maschinenspannungen.

Übertragungsanlage	Spannung in den Maschinen, die unmittelbar in die Fernleitung arbeiten Volt
Mechanicsville—Schenectady	10 000
Kanadische Niagara-Kraftgesellschaft	12 000
Vizzola	11 000
Paderno	14 000
Mailand—Vercse	13 000
Valtellina-Eisenbahn	20 000
Marklissa (Schlesien)	10 000[3])

fachen der in Tausenden ausgedrückten Spannung, d. h. mit 10 000 Volt Spannung würde man eine Kraft bis auf 30 Meilen, d. h. etwa 50 km, und mit 20 000 Volt auf rd. 100 km mit wirtschaftlichem Erfolg übertragen können[4]).

Es ist klar, daß dies nur eine rohe und annähernde Regel sein kann, da vor allem die Größe der übertragenen Kraft nicht berücksichtigt ist.

Als Betriebsspannung für den unmittelbaren Gebrauch wird etwa gewählt

für Beleuchtung 220 oder 110 Volt,
» Motorenbetrieb 500 Volt.

1) Denkschr. über d. El. Werk Schaffhausen u. Bayer. Ind. u. Gew. Bl. 1904.
2) Recent Practice in Electrical Transmission of Power. The Engineer 14/12. 06.
3) Spätere Erhöhung für das Netz auf 20 000 bis 30 000 V. ist geplant.
4) Über diesen Gegenstand s. auch The Engineering Magazine, Juli 1907.

Maste. Zu den Masten wird in Amerika gern die der Feuchtigkeit widerstehende Zeder benutzt, außerdem kommen die Rottanne, Fichte und andere Hölzer in Anwendung. Sie werden mit Kohlenteer und anderen erhaltenden Mitteln behandelt. Die Stärken an den Zopfenden

Abb. 193. Transformatorenstation in säulenförmigem eisernen Gehäuse mit oberirdischer Ableitung im Übertragungsnetz des Elektrizitätswerkes der Stadt Schaffhausen am Rhein.
Transformierung des Stromes von 2000 Volt auf 120 Volt.

Abb. 194. Transformatorenstation in säulenförmigem eisernen Gehäuse mit unterirdischer Zu- und Ableitung im Übertragungsnetz des Elektrizitätswerkes der Stadt Schaffhausen am Rhein.
Die Station enthält 2 Transformatoren von je 20 K.W. Leistung. Transformierung des Stromes von 2000 Volt auf 120 Volt.

betragen etwa 20—35 cm. Es sei bemerkt, daß man im Durchschnitt bei Holzmasten etwa 25 Stück auf 1 km, bei den höheren Eisenmasten 7 bis 8 Stück auf 1 km rechnet. Daraus erhellt, eine wie wesentliche Verminderung der Isolatoren im letzteren Falle eintritt. Die Lebensdauer der Holzmaste hängt nicht nur von der Güte des Baustoffes und der Schlagzeit, sondern auch von den herrschenden Witterungs- und

Bodenverhältnissen ab. Ihre Lebensdauer beträgt etwa 5 bis 15 Jahre — in einzelnen Fällen sind jedoch mehr als 35 Jahre festgestellt worden[1]). Über die Dauer der eisernen Masten liegen abschließende Erfahrungen noch nicht vor. Für die eisernen Masten sind meist auch hölzerne Querriegel zur erhöhten Isolation in Gebrauch.

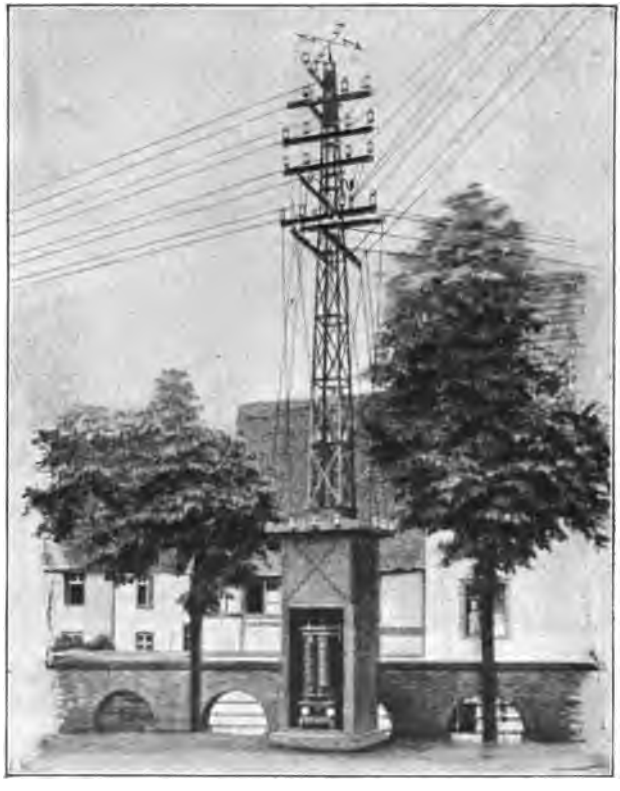


Abb. 195. Transformator in der Fernübertragungsanlage des Elektrizitätswerkes in Gersthofen für die Umwandlung der Hochspannung (5000 V.) in die niedere Gebrauchsspannung (110 V.).
Der untere Teil ist als Transformator ausgebildet, der obere Teil dient als Leitungsmast der Hochspannungsfreileitung.

Semenza hat darauf hingewiesen, daß in einer gestreckten Linie mit gleichen Spannweiten man im wesentlichen als seitliche Lasten nur

1) Über Erfahrungen über die Lebensdauer hölzerner Masten in Österreich s. El. u. Maschinenb. 1. 12. 07.

den Winddruck zu berücksichtigen hat. Es ist also nicht nötig, Pfeiler zu konstruieren, die nach allen Richtungen hin steif sind. In der Längsrichtung ist die Beanspruchung gering. Deswegen sind die von ihm konstruierten Maste in der Längsrichtung elastisch und können hier bis 40 cm nachgeben (Abb. 190). Beim Bruch einzelner Drähte — also bei veränderten Belastungsverhältnissen — können dann die Maste etwas überneigen, ohne die Leitung zu gefährden.

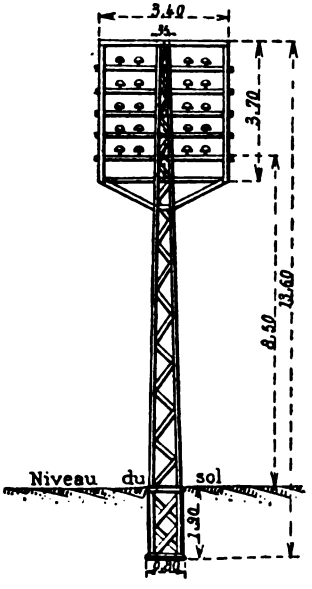


Abb. 196. Eiserne Gittermaste der Kraftübertragung von Avignonnet nach Grenoble. Abstand der Maste 60 m. Aufnahme von 20 Drähten. Kosten für 1 Mast (aufgestellt,: 400 Mk.[1])

Abb. 197. Aufrichten der eisernen Doppelgittermaste für die Überspannung des Drac mittels einer freien Weite von 200 m für die Kraftfernleitung von Avignonnet nach Grenoble.

Als bemerkenswert sei erwähnt, daß bei der Kraftübertragung des Albulawerkes nach Zürich (20 000 PS. auf 136 km) für die gerade Strecke Maste aus Eisen-Beton vorgeschlagen sind. Zugunsten dieser Konstruktionsart soll der geringere Preis gegenüber Gittermasten und der Umstand sprechen, daß Eisen-Betonmaste weniger Unterhaltungsarbeiten bedürfen. Für Eckpunkte, Bahn- und Flußkreuzungen sind jedoch auch bei dieser Anlage eiserne Gittermaste vorgesehen.

1) Nach De La Brosse, Inst. Hydr.-Él.

Die Abbildungen 196 bis 199 geben einige Beispiele von eisernen Gittermastkonstruktionen neuerer Überlandzentralen in Frankreich und Amerika.

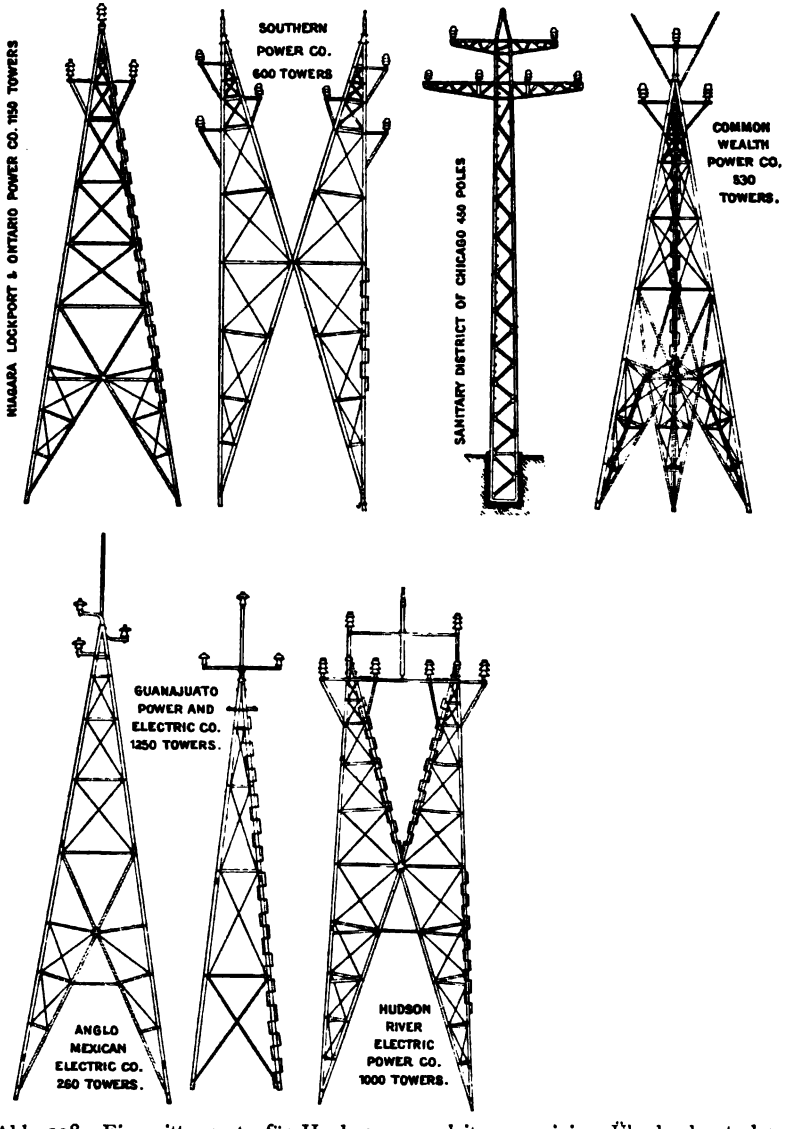


Abb. 198. Eisengittermaste für Hochspannungsleitungen einiger Überlandzentralen in Amerika.

Die Maste haben Höhen von 10 bis 45 m und vermögen wagerechten Beanspruchungen von 1000 bis 15000 kg zu widerstehen.

Isolatoren. Unter 25 000 Volt Spannung wurden früher viel Glasisolatoren benutzt. Neuerdings ist die Entscheidung oft zugunsten der Porzellanisolatoren ausgefallen. Glas hat vorzügliche dem Zwecke entsprechende Eigenschaften, läßt sich beliebig formen und ist billig, hat aber mechanische Schwächen, die meist den Innenbeanspruchungen, aus der Herstellung herrührend, zuzuschreiben sind. Es erreicht überdies nie die Festigkeit des Porzellans. Dieses ist im ganzen ein verläßlicher Stoff, ist aber bei großem Drucke schwer ohne Fehler und Risse zu verarbeiten. Der Sicherheitsgrad der Glocken soll ein 2- bis 3facher sein. Bei 40000 Volt leiten in schlechtem Wetter die Glocken genug Strom ab, um Holzbolzen an den Glocken zum Ankohlen zu bringen, daher werden bei Spannungen, die größer als 25 000 Volt sind, die Bolzen aus Gußstahl oder Gußeisen hergestellt.

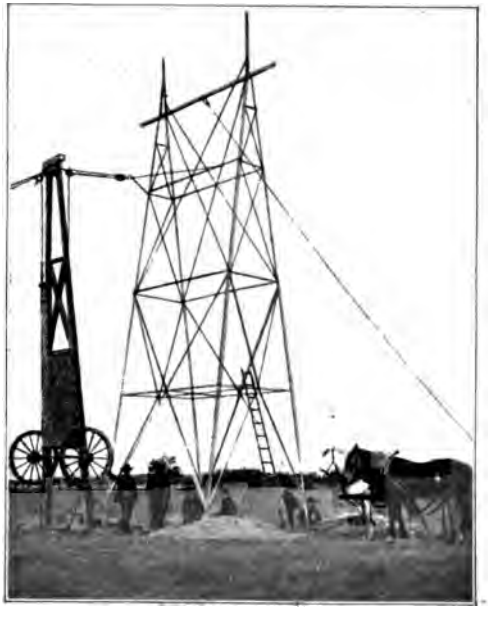


Abb. 199. Aufrichten der Eisenmaste der Kraftübertragungsanlage vom Niagarafall nach Toronto. Leistung 24000 PS. mit 60000 Volt Spannung auf 43 km.
Die Maste stehen in der geraden Strecke in 120 m Entfernung, in den Kurven enger. Gesamthöhe 15,5 m, davon 2 m im Boden.

Leitungsdraht. Zu den Leitungen dienen Kupfer und Aluminium. Aluminium, das in Amerika vielfach Verwendung findet, hat kleineres Gewicht bei etwa gleichem elektrischen Widerstand als Kupfer, so daß dort ein leichteres Tragwerk angängig ist. Die Wahl zwischen Aluminium und Kupfer ist eine Preisfrage. Salzige Nebel der See greifen Aluminium mehr an als Kupfer, so daß man in solchem Falle den letzteren Stoff vorziehen wird.

Blitzschäden. Über die Betriebsergebnisse hinsichtlich der Blitzschäden sei bemerkt: Unter den Elektrizitätswerken der Vereinigten Staaten von Nordamerika ist eine Umfrage gehalten worden, um Mit-

teilungen über Blitzschäden im Laufe des Jahres 1905 zu sammeln. 113 Gesellschaften haben geantwortet, aus deren Berichten etwa das Folgende zu entnehmen ist.

Zwei Drittel der Gesellschaften haben keine nennenswerten Betriebsunfälle zu melden gehabt. Der Verlust bei vorgekommenen Störungen besteht meist nur in kurzen Unterbrechungen der Stromlieferung und nur ausnahmsweise in zerstörten Teilen der Anlage. Man schreibt die zunehmende Seltenheit der Blitzschäden der ausgedehnteren Verwendung brauchbarer Blitzschutzeinrichtungen und besonders der besseren Isolation neuzeitlicher Maschinen und Transformatoren zu. Es entstand im Durchschnitt je ein Blitzschlag auf 30 km Fernleitung, dabei wurde je ein Isolator auf je 100 km Leitung zerbrochen[1]).

Über die Gestaltung von Freileitungen in Frankreich s. De La Brosse, Les Install. Hydro-Électr. Siehe auch Vorschriften für die Errichtung elektrischer Starkstromanlagen nebst Ausführungsregeln in E. T. Z. 1907 S. 445 und die Sicherheitsvorschriften des Verbandes »Deutscher Elektrotechniker«, herausgegeben von G. Kapp, u. a. m.

Wirkungsgrad der Umsetzung und elektrischen Fernübertragung der Wasserkräfte.

Es ist für die Aufstellung wirtschaftlicher Berechnungen notwendig, sich den Wirkungsgrad und die Kraftverluste, die bei der Umsetzung der Wasserkräfte und ihrer Fernleitung entstehen, in einigen Mittelwerten zu vergegenwärtigen. Allgemein sei bemerkt: Während Turbinen nur in einem kleinen Spielraum der Belastung einen günstigen Wirkungsgrad aufweisen, ist die Kurve des Wirkungsgrades bei wechselnder Belastung für Peltonräder schon gleichbleibender. Die Leistungskurven der Generatoren sind flach bei mehr als halber Belastung, so daß hier kein wesentlicher Unterschied in der Wirkung vorhanden ist, wenn die Maschine mit halber oder voller Kraft läuft. Im ganzen weichen auch Wassermotoren in ihrem Wirkungsgrad mehr voneinander ab als elektrische Maschinen. Man wird bei 3000—5000 Volt Erzeugungsspannung, einer Fernleitungshochspannung bis 40000 Volt und den üblichen Gebrauchsspannungen von 120—220 Volt und auf Entfernungen bis etwa 50 km für vorläufige Aufrechnungen folgende Werte annehmen dürfen:

1) E. T. Z. 1907 S. 133 nach Electrical World 1906.

	Wirkungsgrad v. H.
Generator (Gleichstrommaschine oder Wechselstrommaschine)	93 bis 95
Transformator im Kraftwerk	97
Hochspannungsleitung	95
Transformator in der Unterstation	98
Zuleitung von der Unterstation zu den Einzeltransformatoren	98 bis 99
Transformierung auf die Gebrauchsspannung und bis zur Abgabe	96
Akkumulatoren	75 bis 80
Bufferbatterien	85 bis 90
Umformung, Wechselstrom in Gleichstrom	90
Motor	90

Der Gesamtwirkungsgrad der elektrischen Umsetzung und Übertragung bis zur Abgabe an die Verbraucher ist somit i. M. etwa 80 v. H. Dazu treten dann noch die Verluste in den Hausleitungen und Werkstattmotoren, die man i. M. zu 10—15 v. H. annehmen kann. Weitere Verluste sind verbunden, wenn etwa die Umformung von Wechselstrom (Drehstrom) in Gleichstrom erforderlich ist, wobei der Wirkungsgrad i. M. 90 v. H. ist. Die Akkumulierung hat 20—25 v. H. Kraftverlust zur Folge.

Demgemäß berechnet sich die nutzbare Leistung der rohen Wasserkraft:

	Wirkungsgrad	
	ohne Fernleitung	mit Fernleitung
Turbine	0,80	0,80
Elektrische Umsetzung	0,95	0,80
Arbeitsmotor	0,90	0,90
Nutzbare Leistung der rohen Wasserkraft	0,685	0,576

Es mag hier interessieren, die Annahmen für die Energieverluste bei den Voruntersuchungen für ein amerikanisches und ein englisches Wasserkraftunternehmen kennen zu lernen.

1. Wasserkraftwerk am Bishop-Creek in Kalifornien[1]), 1904/05 in der Ausführung begriffen.
Leistung 2500 PS.

1) Engineering News 1905.

Gefälle 320 m.
Übertragungslänge 145 bis 192 km.
Spannung $\frac{60000}{15000}$ (Aluminiumkabel).

Wirkungsgrade.	v. H.
Peltonräder	80
Generator	94
Transformator (Erhöhung)	97
Fernübertragung (Aluminiumnetz)	90
Transformator (Erniedrigung)	97
Verteilungsnetz am Verbrauchsort	95
Insgesamt bis zum Abnehmer	60,4.

Die nutzbare Leistung beim Verbraucher würde demnach sein:

$$60{,}4 \cdot 0{,}9 = 0{,}54.$$

2. Kraftanlage bei Invernglas in Schottland[1]).

Leistung 6000 PS.
Gefällhöhe 210 m.
Übertragungslänge 35 km.
Spannung 40000 Volt.

Wirkungsgrade.	v. H.
Offene Zuleitung im Betriebskanal	75
Rohrleitung	75
Turbinen	75
Generator	94
Transformator $\frac{6000 - 10000}{40000}$	97
Hochspannungsleitung (40000 Volt) auf 35 km	93
Transformator $\frac{40000}{10000}$	97
Verteilungsnetz (Kabel) 6000 Volt	95
Gesamtwirkungsgrad	58,6.

Bei der Kraftanlage von Champ (Isère) werden von der Rohkraft 7000 PS. nach Umsetzung und elektrischer Übertragung bis auf 50 km

1) Engineering 1904.

(26000 Volt) nutzbar an die Verbraucher 4060 PS. abgegeben. Das entspricht einem Wirkungsgrad von 58 v. H.

Intze fand bei seinen Untersuchungen über die Nutzbarmachung von Wasserkräften (13000 PS.) für industrielle Zwecke durch den Masurischen Schiffahrtskanal[1]) für die Kraftverminderung der Anfangsleistung infolge von Verlusten im Leitungsnetz und für die Zunahme der Kosten durch den Geldaufwand der elektrischen Übertragung die Werte der nachstehenden Tabelle 29. Dabei betragen die Kosten der Nutzpferdekraft am Gewinnungsort 17 Mark (7200 Arbeitsstunden jährlich).

Tabelle 29. Kostenzunahme und Kraftabnahme bei elektrischer Kraftübertragung am Masurischen Schiffahrtskanal.

Gewinnungsort der Wasserkraft	Verwendungsort der elektrisch übertragenen Kraft	Entfernung beider Orte in km	Größe der Kraft		Kosten für 1 PS. am Verwendungsort, jährlich
			am Gewinnungsort PS.	am Verwendungsort PS.	Mk.
Allenburg	Königsberg	52	1776	1220	65
Allenburg	Wehlau	14	1776	1460	42
Allenburg	Königsberg	60	1944	1300	70
Georgenfelde	Insterburg	40	2400	1730	58
Georgenfelde	Gumbinnen	60	2400	1600	70
Georgenfelde	Königsberg	70	2400	1540	78

Intze rechnet mit Übertragungseinheiten von 1000 PS. und Spannungen in der Fernleitung von 10000 Volt. Bei den heutigen hohen Spannungen bis 60000 Volt und mehr würden sich die Ergebnisse günstiger stellen.

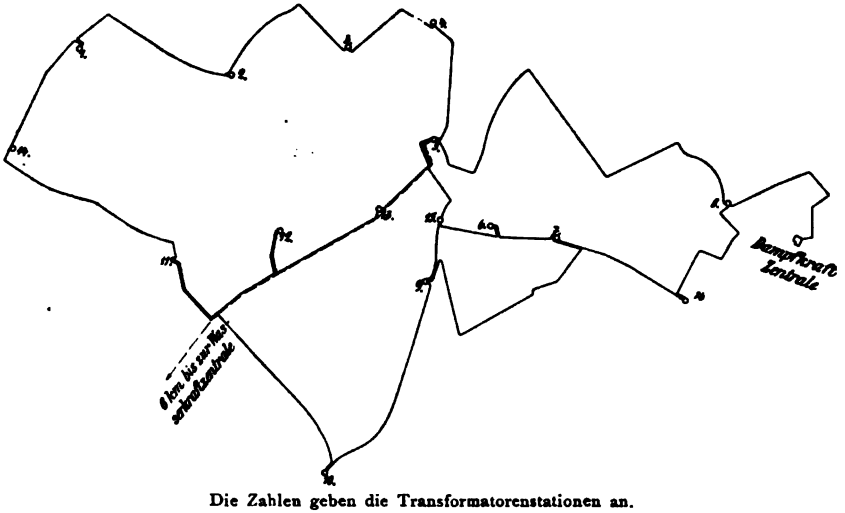
Kraftübertragung ohne Draht.

Es soll nicht unterlassen werden, an dieser Stelle auch des neuesten Zieles der elektrischen Kraftleitung zu gedenken — der Übertragung ohne Draht. Der Engländer Crompton bezeichnet dies als eine Aufgabe, die jetzt beginnt, das Gebiet des Physikers zu verlassen und in das des Ingenieurs überzugehen[2]). Es ist schwierig, von der Lösung mit einiger Sicherheit oder Hoffnung zu sprechen. Aber wenn es möglich geworden ist, elektrische Schwingungen ohne das leitende Medium auf

1) Berlin 1894.

2) Unsolved problems in electrical engineering, Engineering 1905. Vgl. auch Electrical World v. 5. 3. 1904: »Transmission of electrical energy without wires.«

dem Gebiet der Telegraphie mit Schwachströmen zu übermitteln, wer wollte ableugnen — meint Crompton —, daß der menschliche Erfindungsgeist Vorrichtungen ersinnen kann, die die fernab an Wasserfällen gewonnenen Kräfte in elektrischen Hochspannungen fortschleudern nach entfernten Gebrauchsstätten, wo sie zu Kraft und Licht gesammelt werden. Wie berichtet wird, soll es bei Versuchen auf der Weltausstellung in St. Louis 1904 gelungen sein, in kleinem Umfange die Kraftübertragung ohne Draht zu bewerkstelligen, wenn auch mit geringem Wirkungsgrade. Und man wird dem englischen Forscher zustimmen können, wenn er meint, daß die Folgen, welche sich ergeben würden aus



Die Zahlen geben die Transformatorenstationen an.

Abb. 200. Hochspannungsnetz des Elektrizitätswerkes der Stadt Solingen.

der Luftübertragung von Kräften in bemerkenswerter Größe, in jeder Hinsicht so außerordentlich sein würden, daß sie unsere sozialen und politischen Ideen umwälzen und alle unsere gegenwärtigen Lebensverhältnisse tief beeinflussen würden[1]).

Ausgeführte Verteilungsnetze.

Es wird nicht ohne Interesse sein, wenn sich an die vorstehenden Darlegungen die Beschreibung von einigen Verteilungsnetzen neuerer Wasserkraft-Elektrizitätswerke anschließt.

1) Über neuere französische Versuche s. La Revue Technique. 1905 S. 753. S. auch Rigaische Industrie-Ztg. 1906 S. 15 u. 74.

Verteilungsnetz des Elektrizitätswerkes der Stadt Solingen (Abb. 200 u. 201). Die elektrische Energie wird in Form von Drehstrom von 5300 Volt erzeugt und gelangt als solcher in zwei getrennten Netzen mit 220 Volt Gebrauchsspannung für Kraft- und Beleuchtungszwecke zur Verteilung. Die 6 km lange Fernleitung nach der Stadt besteht aus zwei nebeneinander verlegten, voneinander aber unabhängigen Kabeln für 6000 Volt Betriebsspannung von je 3 · 25 qmm Kupferquerschnitt. Jeder Strang ist für sich imstande die gesamte Energie zu übertragen. Diese Anordnung, wie auch die unterirdische Lage der Leitungen zum Schutz gegen Blitzschäden und Sturm geschah im Interesse einer er-

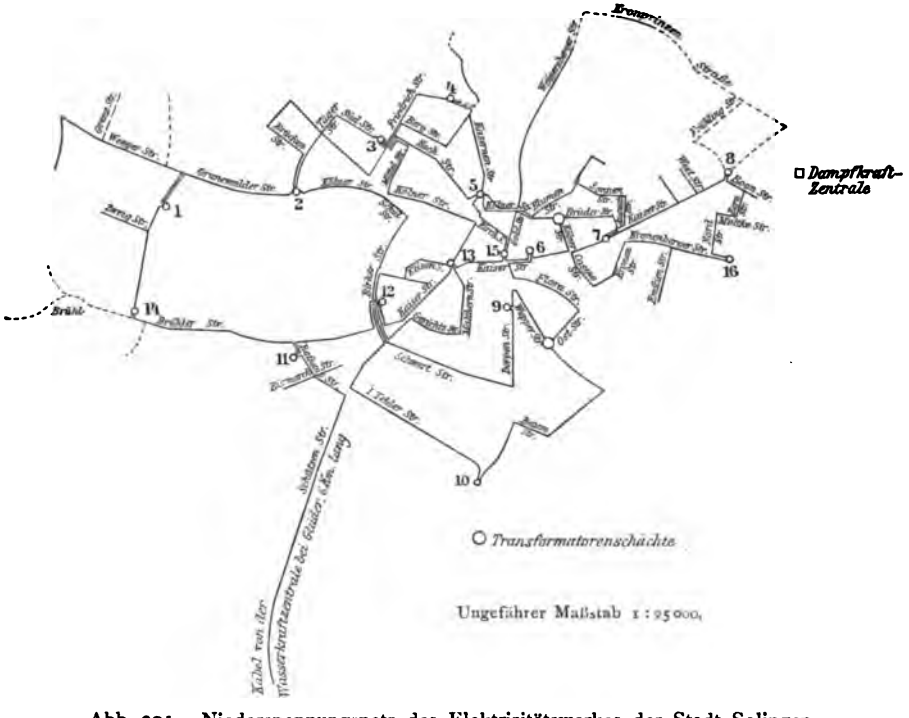


Abb. 201. Niederspannungsnetz des Elektrizitätswerkes der Stadt Solingen. Zwei getrennte Netze für Kraft und Licht von je 3.35 qmm Querschnitt (Kabel) mit 220 V. Spannung. Die Transformatoren (Ölumformer) sind teils in städtischen Gebäuden, teils in unterirdischen Schächten oder oberirdischen Säulen untergebracht.

höhten Sicherheit des Betriebes. Die Kabel sind in 70 cm tiefe Gräben verlegt, mit einer 10 cm hohen Sandschicht bedeckt und mit hartgebrannten Ziegelsteinen abgedeckt. An Straßenkreuzungen und bei Kreuzungen mit anderen Leitungen liegen die Kabel in gußeisernen Röhren. Zum Schutz gegen das Wupperwasser, das Spuren von Ammoniak, Chlor, Salpeter- und Schwefelsäure enthält, sind die in den Fluß eingebetteten Kabel mit verzinktem Eisendraht bewehrt und in einen zinnhaltigen Bleimantel eingehüllt. Besondere Vorsicht ist auch an dem steilen Berghange durch verstärkte Eisendrahtbekleidung angewandt, um die Stränge gegen Zugbeanspruchungen und Knickungen zu schützen. Ein

neben der Fernleitung verlegtes Prüfdrahtkabel ermöglicht, die im Abgabegebiet herrschenden Gebrauchsspannung jederzeit abzulesen, wobei durch entsprechende Hebelumschaltung zugleich eine Fernsprechverbindung des Kraftwerks mit den einzelnen Betriebsstellen in der Stadt hergestellt werden kann. Die Fernleitung steht mit dem Hochspannungsverteilungsnetz nur in einem Punkte in Verbindung: in der Hauptspeisestation nahe dem Mittelpunkt der Stadt. Dieses Hochspannungsverteilungsnetz von 3 · 16 qmm Querschnitt ist als Ringleitung ausgeführt worden, so daß jede Transformatorenstation von zwei Seiten gespeist und bei Störung einer Kabelstrecke nicht stromlos wird. Die Ringleitung umfaßt vorläufig nur den inneren, dichter ausgebauten Stadtteil. Die Querschnitte sind jedoch so bemessen, daß auch bei beträchtlicher Vermehrung der Motoren und Steigerung des Lichtverbrauches eine Verlegung weiterer Kabel nicht erforderlich wird.

Die Umsetzung der Hochspannung von 5300 Volt in die Gebrauchsspannung von 220 Volt erfolgt in 16 Umformerstationen. Diese enthalten zwei Umformer, je einen für Kraft und Licht. Es sind Ölumformer von je 20 K.W. Aufnahmefähigkeit. Die Stationen sind teils in städtischen Gebäuden, teils in unterirdischen Schächten oder oberirdischen Säulen untergebracht. Außer dem Hochspannungskabel liegt in den Straßen der Stadt für

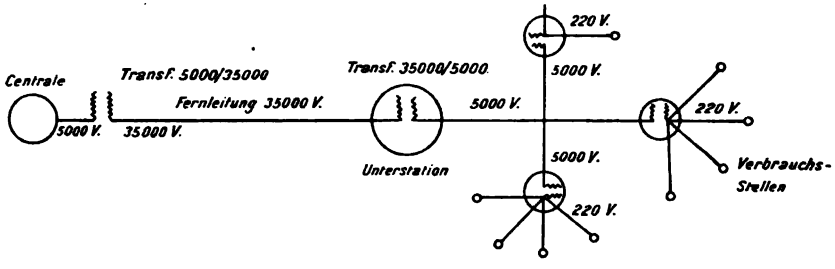


Abb. 202. Schema der Kraftübertragungsanlage der Urfttalsperre.

Erzeugung der Energie mit 5000 Volt im Kraftwerk (Drehstrom). Transformierung auf 35000 Volt und Fernleitung bis zur Unterstation. Zurücktransformierung auf 5000 Volt. Verteilung im Verbrauchsgebiet mit 5000 Volt nach den Hauptentnahmestellen. Hier Herabtransformierung auf die Gebrauchsspannung von 220 Volt an den Verbrauchsstellen.

Kraft- und Lichtzwecke getrennt je eine Niederspannungskabelleitung von 3 · 35 qmm Querschnitt, deren Anschluß an die Niederspannungsseite der Umformer erfolgt ist. Diese doppelte Leitung hat den Zweck, die Beleuchtung möglichst unabhängig vom Motorenbetrieb zu machen und somit ein gleichmäßiges Licht zu schaffen. Auch hier ist ein reichlicher Kupferquerschnitt gewählt worden, um auf Jahre hinaus für Anschlüsse gesichert zu sein. Jedes Stück der Verteilungsnetze ist zur größeren Betriebssicherheit mit mindestens zwei Umformerstationen in Verbindung gesetzt, so daß, falls eine Station betriebsunfähig werden sollte, es doch möglich ist, den Abnehmern Strom zuzuführen. Die 26 Umformer besitzen eine Aufnahmefähigkeit von 520 K.W., entsprechend etwa 10000 Glühlampen von 16 Normalkerzen oder deren Gleichwert an Bogenlampen und Motoren.

Am 31. März 1907 bestand das Leitungsnetz aus folgenden Kabelstrecken:

Niederspannungsverteilungen	3.35	qmm	49200 m
Speiseleitungen	3.16	»	10870 »
Fernleitungen	3.25	»	12470 »
Prüfleitung	3.1	»	6210 »

Elektrizitätswerk Heimbach. Die im Kraftwerk bei Heimbach (Urfttalsperre) gewonnene Kraft, im Mittel 6000 PS., wird durch 2 getrennte Netze von 35000 Volt und 5000 Volt Spannung nach den Verbrauchsstellen geleitet und für

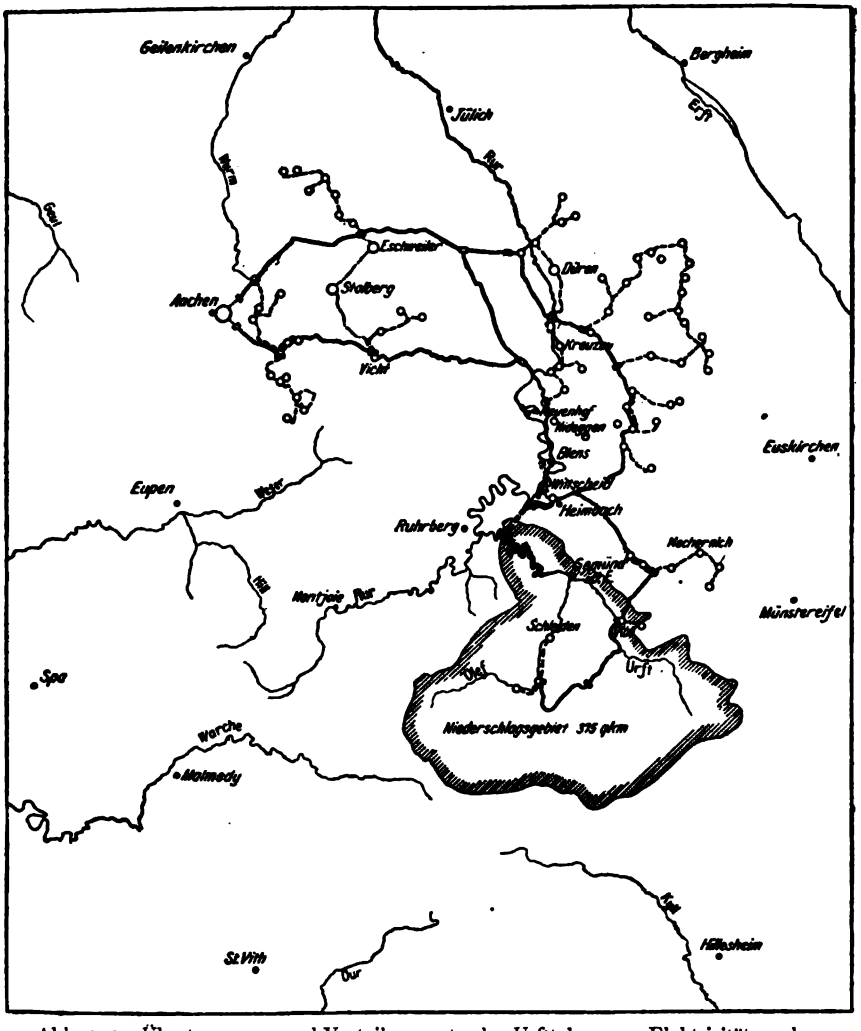


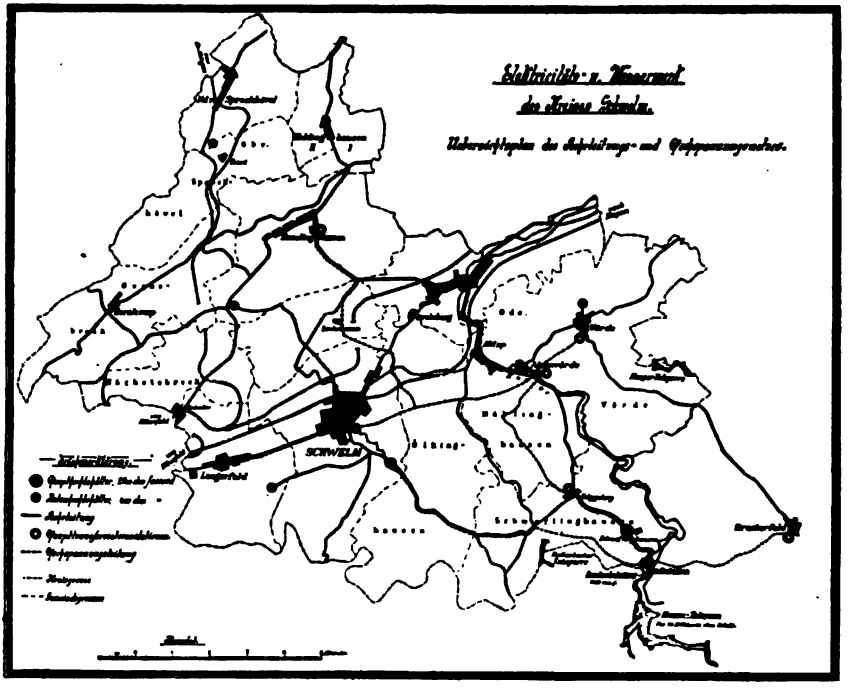
Abb. 203. Übertragungs- und Verteilungsnetz des Urfttalsperren-Elektrizitätswerkes Heimbach (Eifel).

——— — · · · Hochspannungsleitung, 35000 Volt.
— — — — — Mittelspannungsleitung, 5000 Volt.
— · — · — • — Mittelspannungskabel, 5000 Volt.
○ Niederspannungsverteilungsnetz.
■ Transformatorenstation bzw. Schalthaus.

den Gebrauch auf 220 Volt herabgesetzt bzw. an einzelnen Stellen mit 5000 Volt verbraucht.

Das Hochspannungsnetz (Abb. 202 u. 203) ist ausschließlich oberirdisch geführt und, es ist bemerkenswert, die Sicherungen kennen zu lernen, die für nötig gehalten wurden zum Schutze der Schwachstromleitungen der Reichspostverwaltung und des Eisenbahnbetriebes an Kreuzungen.

Die Hochspannleitungen dürfen sich beim Nebeneinanderlaufen den Telephonleitungen nur soweit nähern, daß auch beim Umbruch von Gestängen eine gegenseitige Be-



Nach Harz, Ennepetalsperre.

Abb. 204. Verteilungsnetz des Kraftwerkes an der Ennepetalsperre (Ruhrgebiet).

Spannung in den Generatoren 500 Volt, im Hochspannungsnetz 20 000 Volt, für die Verbraucher 220 Volt. Freileitung auf Holz- und Eisenmasten, zum Teil Doppelleitungen; in den Ortschaften Kabelleitungen. Gesamtleistung des Kraftwerkes: 500 PS. an 4200 Betriebsstunden im Jahre.

rührung der Leitungen nicht eintreten kann. Der Abstand der Linien muß von einander mindestens 10 m betragen. Bei Kreuzungen mußten kastenartige engmaschige Schutznetze unter dem Hochspannungsnetz angebracht werden. Die Kreuzung muß möglichst rechtwinklig, also auf dem kürzesten Wege bewerkstelligt werden. Dabei ist eine besondere Standsicherheit der Endpfosten, an denen diese Netze hängen, vorgeschrieben. Die

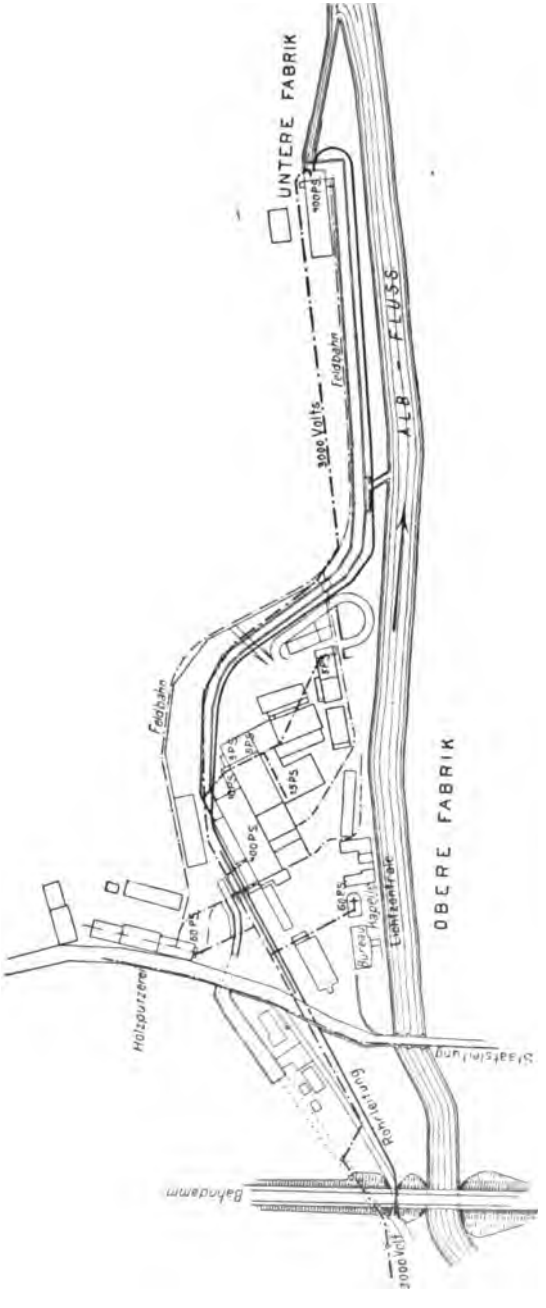


Abb. 205. Kraftverteilung des Elektrizitätswerkes der Papierfabrik Albbruck (Schwarzwald).

Die Kraftübertragung (1080 PS.) erfolgt auf 3 km mit Wechselstrom von 3150 Volt Spannung. Die Kraft wird im Fabrikgelände in der aus dem Lageplan ersichtlichen Weise verteilt.

Maschenweite von 100 : 445 mm erwies sich dabei als eng genug, um die Enden zerrissener Hochspannungsdrähte am Durchfedern zu verhindern.

Die Eisenbahnverwaltung ist noch über diese Forderung hinausgegangen und hat an Kreuzungsstellen mit der Hochspannungsleitung von 35000 Volt die Herstellung von Gitterbrücken verlangt, deren Brückenbahn zur Verminderung des Durchgleitens gerissener Hochspannungsdrähte mit Brettern verschalt werden mußte [1].

Elektrizitätswerk der Ennepetalsperre (Abb. 204). Die erzeugte elektrische Energie wird den Generatoren mit 500 Volt entnommen. Von der Schalttafel wird der Strom zu den Transformatoren geleitet, welche die Spannung auf 20000 Volt erhöhen. Mit dieser Spannung wird der elektrische Strom den Versorgungsgemeinden Breckerfeld (Landkreis Hagen), Vörde, Schwelm, Langerfeld und Haßlinghausen zugeführt. Die Hochspannungsleitung ist oberirdisch auf Holzmaste verlegt; bei Winkelzügen sind eiserne Maste verwendet.

Die Leitung nach Schwelm ist im Interesse der Betriebssicherheit als Doppelleitung ausgeführt, ebenso die nach Vörde und Altenvörde abzweigende, da gerade im letzteren Orte ein verhältnismäßig großer Verbrauch mangels einer eigenen Beleuchtungsanlage zu erwarten war. Die Abzweigungen nach Langerfeld und Haßlinghausen sind als einfache Leitungen hergestellt. Die Leitungen mit 20000 Volt Spannung enden vor den Ortschaften, um in besonders eingerichteten Transformatorenstationen auf eine Spannung von 5000 Volt herabgesetzt zu werden.

Um jede Gefahr zu vermeiden, sind in den Ortschaften diese 5000 Volt-Leitungen in Kabeln verlegt und nur das für die Gebrauchsspannung von 220 Volt bestimmte Leitungsnetz ist oberirdisch geführt. Um den Hochspannungsleitungen den besonders wichtigen Schutz gegen atmosphärische Entladungen zu gewähren, sind Blitzschutzvorrichtungen angeordnet [2].

Elektrizitätswerk Schweinfurt. Bei dem Elektrizitätswerk Schweinfurt — Wasserkraft 800 PS., außerdem 800 PS. in Dampfturbinen — wurde als Betriebsart Drehstrom gewählt. Für diese Wahl sprach in erster Linie die starke Stromabgabe für fast ununterbrochenen Kraftbedarf während Tag und Nacht. Es konnte also eine gleichmäßige Belastung der Zentrale erwartet werden, sodaß eine Aufspeicherung der Wasserkraft in Akkumulatoren nicht erforderlich erschien. Andrerseits war hochgespannter Strom wegen der Ausdehnung des Gebrauchsgebietes unerläßlich [3].

Die elektrischen Anlagen der Papierfabrik Albbruck im Schwarzwald (Abb. 205). Bei der Wahl des elektrischen Kraftübertragungssystems war namentlich zu berücksichtigen, daß es sich um eine Anlage mit rein motorischem Betriebe handelte, der sehr bedeutenden Kraftschwankungen unterworfen ist. Die Größe der aufzustellenden Motoren ließ unmittelbare Verwendung von Hochspannung zu, sofern dieselbe mit Rücksicht auf die Wirtschaftlichkeit der Leitung und die auftretenden Verluste in bestimmten Grenzen gehalten werden konnte.

Die beiden unmittelbar mit den Turbinen gekuppelten Generatoren der Zentrale erzeugen Wechselstrom von 3150 Volt Spannung und arbeiten mit 240 Umdrehungen in der Minute. Zur Unterstützung der Schwungräder der Turbinen sind die Magneträder mit möglichst großen Schwungmassen ausgerüstet worden, um die sehr häufig auftretenden

1 Österr. Wochenschrift f. d. öff. Baudienst 1906 S. 587; s. auch Z. d. V. deutsch. Ing. 1908 S. 606.

2 Nach Harz, Die Ennepetalsperre.

3 Journ. f. Gasb. u. Wasserv. 1907 S. 407.

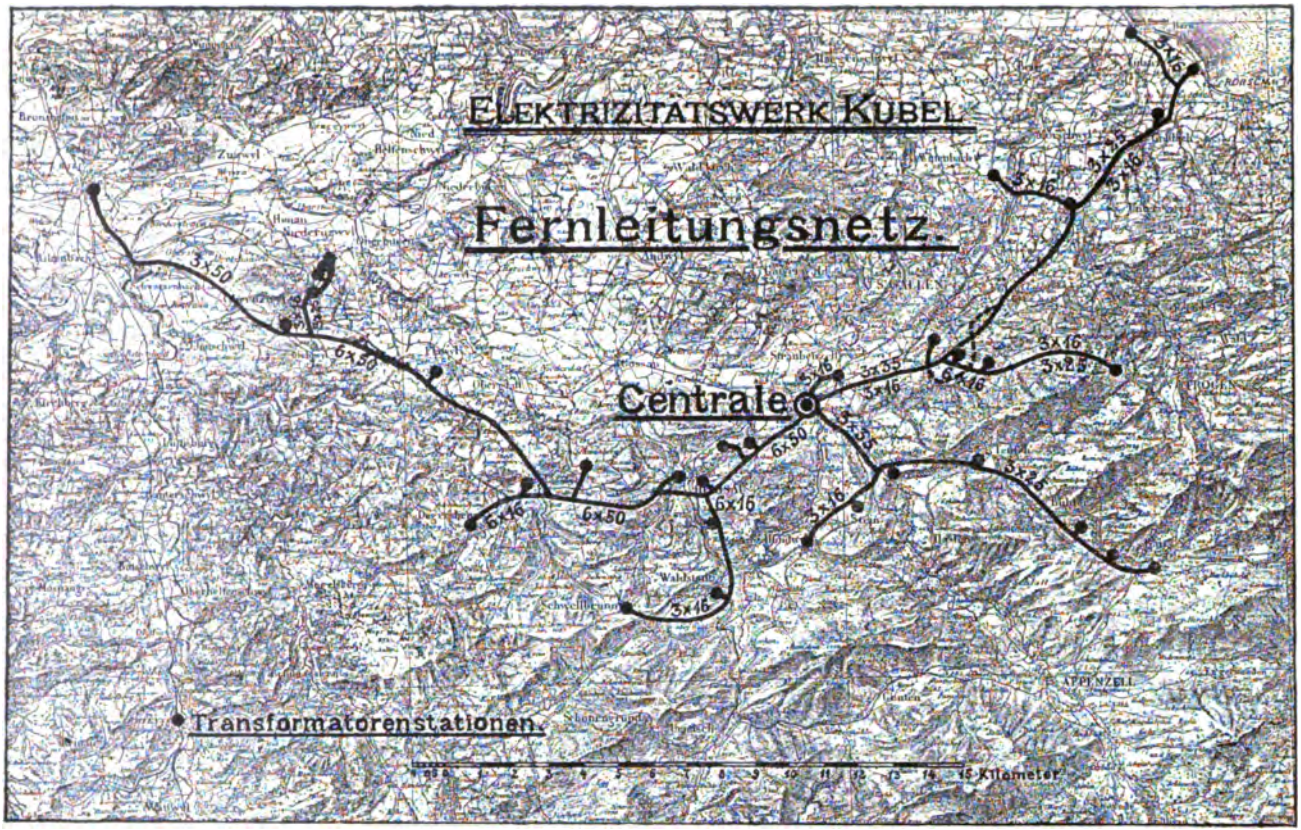


Abb. 206. Nach Elektr. Zeitschr.

Das Verteilungsnetz hat in vier Hauptlinien eine Gesamtlänge von mehr als 160 km und versorgt viele Ortschaften. Die entferntesten Punkte des Netzes liegen 42 km auseinander. Hochspannung: 10 000 Volt. Leitungen für Kraft und Licht getrennt. Gebrauchsspannung: 550 (Motoren) und 125 Volt (Licht). Freileitung auf Holzmasten. Gesamtübertragung und Verteilung: 5000 PS.

und sehr bedeutenden Kraftschwankungen möglichst auszugleichen und die Wirkung der Turbinenregulatoren zu fördern. Jeder Generator ist mit einer unmittelbar angebauten Erregermaschine versehen, deren Anker auf die verlängerte Welle aufgekeilt ist.

Die Kraftübertragung nach den rund 3 km entfernten Fabrikgebäuden geschieht durch oberirdische Leitung auf imprägnierten Holzmasten von durchschnittlich 9 m Länge und 15 cm Zopfdurchmesser, die in Abständen von etwa 40 m aufgestellt sind. Zur Aufnahme und Isolierung der drei Drähte von 8 mm Durchmesser haben dreifache Glockenisolatoren Verwendung gefunden, die auf verzinkten, 18 mm starken, abgebogenen Stützen befestigt wurden. Die Isolatoren sind wechselseitig angeordnet, sodaß die Drähte in einem gleichschenkligen Dreieck von etwa 50 cm Seitenlänge gleichmäßig verteilt sind. Zum erhöhten Schutz der Leitung vor Blitzschlägen wurde ungefähr jede fünfte Stange und vornehmlich die höchstgelegenen Punkte mit Auffangspitzen aus Kupfer ausgerüstet. Außer dieser Vorrichtung sind als hauptsächlichste Schutzmaßregeln empfindliche Blitzschutzapparate am Anfange und am Ende der Leitung eingeschaltet.

Über die Kraftverteilung im Fabrikgebiet gibt der Lageplan Aufschluß. Die Anlage arbeitet seit Inbetriebsetzung (um 1900) ununterbrochen, da die Fabrik Tag- und Nachtbetrieb hat, und bewährt sich in allen Teilen vorzüglich [1]).

Das Übertragungsnetz des Elektrizitätswerkes Kubel bei St. Gallen (Abb. 206). Das Fernleitungsnetz, in dem die entferntesten Punkte 42 km auseinander liegen, hatte 1904 eine gesamte Länge der Leitungen von über 80 km und versorgte 22 Ortschaften. Später ist eine wesentliche Erweiterung bis auf mehr als 160 km erfolgt. Wie der Übersichtsplan erkennen läßt, sind vier Hauptlinien vorhanden. Im Netz sind die Leitungen für Licht und Kraft von einander getrennt, um ein gleichmäßiges Licht zu erhalten. Kleine Motoren sind jedoch auch an das Lichtnetz angeschlossen, ebenso einzelne Beleuchtungsanlagen an das Kraftnetz.

Anzahl und Querschnitte der Drähte, sowie die Lage der Transformatorenstationen sind aus dem Plane zu entnehmen. Die Betriebshochspannung beträgt 10 000 V. Die Transformierung geschieht auf 550 V. für die Kraftnetze und auf 125 V. für die Lichtnetze. Es sind im ganzen 121 Transformatoren mit einer Gesamtleistung von rd. 4310 K.W. aufgestellt. Die Fernleitungen sind oberirdisch auf Holzmaste verlegt.

Die Hochspannungsleitung des Elektrizitätswerkes Luzern-Engelberg. Die Hochspannungsleitung Obermatt-Luzern hat eine Länge von rd. 27 km. Es wurde die größte Sorgfalt auf die Linienführung, die Konstruktion und den Bau dieser Übertragungsleitung verwendet, um den bestmöglichen Grad von Sicherheit gegen Betriebsstörungen zu erreichen. Es führen drei Leitungen von je drei Drähten vom Kraftwerk in Obermatt (s. Abb. 167 u. 168) nach Luzern, die auf dem gleichen Gestänge montiert sind und von denen jede für die andere als Reserve eintreten kann. Es sind eiserne Gittermaste zur Anwendung gekommen. Dieselben sind zum Teil in die Fundamente einbetoniert, zum Teil mittels Ankerschrauben auf ihre Betonfundamente versetzt. Schwierigkeiten verursachte die Leitungsführung längs des Vierwaldstättersees. Hier wurden die Maste auf Konsolenträger gestellt, die am äußern Straßenrand in Betonklötzen verankert sind und auf durchschnittlich 5,50 m in den See hinaus ragen. Gegen die Straße, bezw. die Bergseite sind starke Mauern aufgeführt, zum Schutze der Eisenkonstruktion gegen Holz- und Steinschlag (Abb. 207). Die Spannweite von Mast zu Mast, die sonst 60 m beträgt, wurde hier bis auf 120 m erhöht, um die Anzahl der Maste zu vermindern.

Die Maste haben oben Querarme aus C-Eisen, die als Träger für die zwei senkrechten

1) Nach Schweiz. Bauz. Bd. XLII.

eichenen Traversen dienen, an welchen die Isolatorenträger befestigt sind. Der Drahtabstand beträgt 100 cm. Am Gestänge befestigt ist außerdem die Telephon- und Signalleitung [1]).

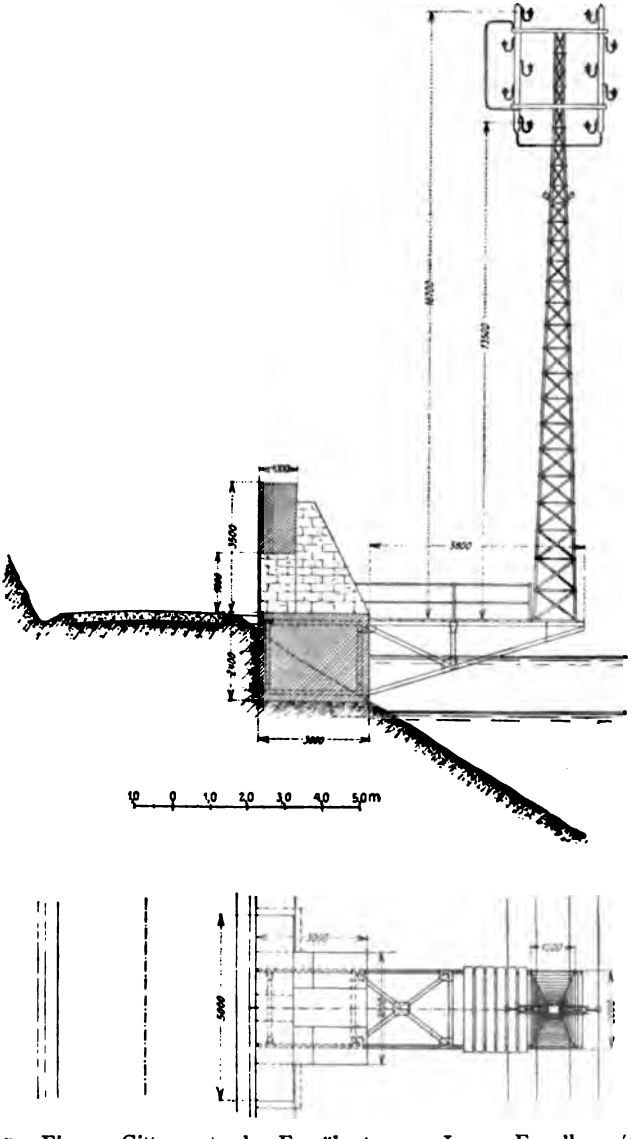


Abb. 207. Eiserne Gittermaste der Fernübertragung Luzern-Engelberg (27 km). Die Maste werden bei beschränktem Raum am Ufer des Vierwaldstätter Sees von Konsolen getragen und stehen in 120 m Entfernung.

1) Nach Schweiz. Bauz. 1906.

Das Fernleitungsnetz des Elektrizitätswerkes Wangen a. d. Aare. Die Dynamoanlage besteht gegenwärtig aus 4, nach vollem Ausbau 6 oder 7 Drehstromerzeugern von 1250 K.W. Leistung.

Die unter 10000 Volt Hochspannung stehende doppelte Fernleitung ist vom Werk aus bis zum Einlaßbauwerk neben dem Kanal entlang und sodann auf rd. 12 km Entfernung vom Werk weitergeführt. Der Strom wird nach dem Umfang der Anschlüsse unmittelbar an die einzelnen Genossenschaften verkauft, welche die weitere Abrechnung unter den Gemeinden und Abnehmern selbst vornehmen.

Da die für das nördlichere Gebiet erforderlichen Fernleitungen etwa 45 km lang sind, war eine Erhöhung der Spannung auf 25000 Volt notwendig, um mit den Drahtstärken innerhalb wirtschaftlicher Grenzen zu bleiben. Die 25000 Volt-Leitung führt in möglichst geraden Strecken, die nur dort, wo das Gebirge es erfordert, durch Krümmungen unterbrochen werden.

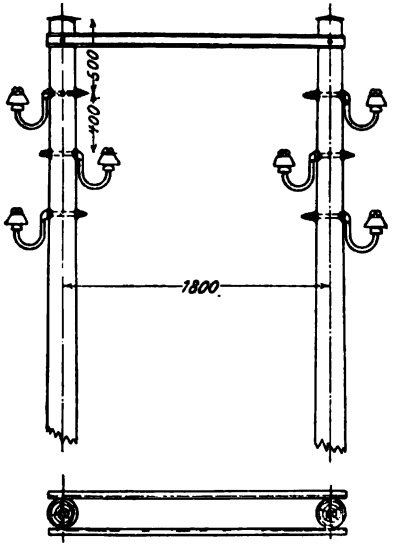


Abb. 208. Hölzerner Mast für die Kraftübertragung des Elektrizitätswerkes Wangen an der Aare.

Die Leitungen für 10000 Volt und 25000 Volt sind als Doppelleitungen ausgeführt und bestehen auf den Hauptstrecken aus je drei 8 mm starken Kupferdrähten.

Die beiden in 1800 m Abstand voneinander stehenden Maste sind oben mit einem Querarm aus ⊔-Eisen verbunden. Sie sind in der Ebene in 35 m Abstand unmittelbar in den Boden eingegraben oder, wo Felsboden vorhanden war, eingesprengt. In sumpfigem Gelände sind dagegen die Holzmaste mit Betonklötzen gesichert. Abbildung 208 zeigt die Befestigung der Leitungen für 25000 Volt an den hölzernen Masten. Die Stangenköpfe für 10000 Volt sind etwas niedriger. Beim Überschreiten des Juragebirges, wobei rund 650 m Höhenunterschied zu überwinden sind und man an einzelnen Wänden auf Spannweiten von rd. 100 m kommt, sind an derartigen Stellen eiserne Gittermaste aufgestellt, während sonst auf den weniger schwierigen Strecken wie in der Ebene Holzmaste, aber in Abständen von nur 25 m, versetzt worden sind. Bei Verwendung eiserner Maste sind je drei Leitungsisolatoren an einem senkrechten Holzstück befestigt, von denen je zwei mit Hilfe von Querarmen aus ⊔-Eisen am eisernen Mast angebracht sind. Auf den Strecken, die durch Wald führen, sind für die Leitung 30 m breite Schneisen ausgeholzt worden. Die schwierige Leitungsführung im Auf- und Abstieg des Gebirges ist aus Abb. 209 zu erkennen, aus der auch die Form der eisernen Maste und die Anordnung der Isolatoren und Drahtbefestigungen ersichtlich ist.

Zur Überwachung der Leitungen sind Streckenwärter angestellt, welche die Leitungen täglich abzugehen haben. Auf jeden Wärter entfallen rd. 15 km Leitung an einem Tage.

Um die Leitungen, die 25000 Volt Hochspannung durch das sich bis auf 1147 m erhebende Gebirge führen, gegen Blitz und andre atmosphärische Überspannungen zu sichern, sind fünf Schutzstationen eingerichtet worden. Die Blitzschutzstellen sind in gemauerten

Häuschen, Abb. 210, untergebracht. Die Häuschen der Schutzstationen haben 9,7 m lichte Höhe und enthalten einen Raum von 6×4,9 qm Grundfläche [1]).

Kraftübertragung Moutiers-Lyon[2]). 180 km — Hochspannungsgleichstrom — 57600 Volt, Leistung 6300 PS. Die Luftleitung besteht aus 2 Kupferdrähten von 9 mm Durchmesser, die im größten Teil der Leitung auf Holzmasten, zum Teil auf den Eisenmasten einer vorhandenen Drehstrom-Leitung ruhen. In Lyon selbst ist die Leitung als Kabel ausgebildet, da es nicht angängig erschien, belebte Stadtteile mit einer Spannung von mehr als 50000 Volt zu durchschreiten. Der Spannungsverlust der Luftleitung beträgt 7500 Volt, der Energieverlust 13 v. H. Der Strom wird im Verwendungsgebiet zum Teil in Drehstrom umgeformt. An den beiden Endpunkten der Luftleitung sind besondere Blitzableitungsstationen eingerichtet, um das Kraftwerk bezw. die Umformewerke vor atmosphärischen Entladungen zu schützen.

Abb. 209. Schwierige Führung der Kraftleitungen durch das Gebirge auf eisernen Masten (Elektrizitätswerk Wangen).

Missouri-Fluß-Kraftgesellschaft. Bemerkenswert ist die Linienführung der Kraftleitung der Missouri-Fluß-Kraftgesellschaft. Diese 120 km lange Leitung mit 57000 Volt Spannung fällt vom Kraftwerk um 1130 m und überschreitet 3 Wasserscheiden. Die 35 bis 45 m voneinander entfernten Maste sind in 60 m breiten, auf privaten Waldgründen ausgeholzten Lichtungen zweiseitig gesetzt.

Diese beiden Hauptstränge können durch Schalter zusammen oder getrennt arbeiten. An einer Hauptleitung ist eine Fernsprechleitung angebracht. Die Maste sind bei 10 bis 23 m Gesamtlänge und 20 bis 30 cm Zopfstärke rd. 2 m tief in den Boden gesetzt.

E. Vereinigung von Wasser- und Wärmekraft. Wasserkraftnutzung an kanalisierten Flüssen.

Vereinigte Wasser- und Wärmekraftanlagen im allgemeinen.

Die ungleichmäßige Wasserführung der natürlichen Gerinne kann die Ausnutzung einer Wasserkraft unmöglich machen, wenn in trockner

1) Nach Zeitschr. d. V. d. Ing. 1906.
2) E. T. Z. 1906, S. 1091 (genaue Beschreibung der elektrischen Einrichtungen).

Zeit nicht wenigstens ein kleinster, wirtschaftlich noch nutzbarer Zufluß übrig bleibt. Es ist schon in Abschn. III. A auf die Notwendigkeit des Ausgleichs des Wasserabflusses durch Sammelbecken in solchem Falle hingewiesen. Wo aber eine Regulierung des Wasserlaufs nicht durchführbar ist, wird man zu anderen Mitteln greifen müssen, um eine ausreichende Kraftabgabe jederzeit zu ermöglichen. Dies kann durch ein ergänzendes anderes Wasserkraftwerk oder durch Wärmekraftmaschinen geschehen. Die Wärmekraftanlage kann die Aushilfe liefern in trockner Zeit und die Schwankungen des Betriebes, besondere Spitzen des Verbrauchs an einzelnen Tagen oder Tagesstunden aufnehmen, während die Wassermotoren im natürlichen Flußlauf in den einzelnen Zeitabschnitten in mehr gleichbleibender Arbeit laufen. Jene bieten zudem eine Aushilfe bei Betriebsstörungen an den hydraulischen Anlagen, Brüchen der Druckrohrleitung u. a. m. Eine Ergänzung und Betriebsgemeinschaft ersterer Art weisen z. B. die Wasserkraftwerke von Rheinfelden a. Rh. und Beznau a. d. Aare auf. Rheinfelden, das eine Erweiterung seiner Anlagen durch ein Kraftwerk bei Wyhlen-Augst a. Rh. plant, wird z. Zt. von Beznau aus unterstützt, nachdem die Kraft von Rheinfelden vollen Absatz gefunden hat. Der Vorteile, die sich daraus bei irgend welchen Störungen des Betriebes der Überlandzentralen ergeben, ist bereits im vorigen Abschnitt gedacht. Eine weitere Art der Vereinigung der Wärme- und Wasserkraft ist eine Wärmekraftaushilfe am Ende einer langen elektrischen Fernübertragungsstrecke zur Reserve am Verbrauchsort für Störungen in der Fernleitung. Es sei hier auf die Mitteilungen S. 333 verwiesen. S. auch Abschn. V, 1.

Abb. 210. Blitzschutzstellen in gemauerten Häuschen im Übertragungsnetz (25 000 V.) des Elektrizitätswerkes Wangen.

Oft aber wird man zu einer Aushilfsanlage im unmittelbaren Zusammenhange mit dem Wasserkraftwerk übergehen müssen. Eine solche doppelte Einrichtung von Wasser- und Wärmemaschinen begegnet im

allgemeinen, hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit des Betriebes, einigem Mißtrauen. Denn der Aufwand für die Bauten und Maschinen ist fast der zweifache. Dementsprechend gestalten sich die vermehrten Kosten des gemischten Betriebes, der Unterhaltung und Tilgung, wenn zwei gleichwertige Werke ständig arbeitsfähig gehalten werden müssen. Und doch meint v. Miller, daß der Nachteil zu kleiner Wasserkräfte, der eben darin besteht, daß sie durch Wärmemotoren ergänzt werden müssen, häufig überschätzt wird. Es ist richtig, daß in den alten kleinen Mühlenanlagen der Triebbäche die Werke mit diesem gemischten Kraftsystem meist mit wenig Erfolg gearbeitet haben. Aber in den großen Wasserkraftzentralen mit Dampfaushilfe gestalten sich die Betriebsergebnisse vorteilhafter, und in der neueren Zeit sind eine Reihe solcher Betriebsgemeinschaften in Deutschland wie in anderen Ländern erstanden. Es dürften diese günstigeren Ergebnisse in der Eigenart der Betriebsgestaltung der Großunternehmungen liegen. Die Überlandzentralen und städtischen Elektrizitätswerke werden nur selten nach ihrer vollen Maschinenstärke ausgenutzt, wie die statistischen Nachweise ergeben; oft arbeiten sie nur mit einem Drittel und weniger ihrer ganzen Maschinenstärke. So erklärt es sich, wenn v. Miller an der Hand von Betriebsaufzeichnungen, die der Praxis entnommen sind, berechnet, daß eine Wasserkraft, deren stets vorhandene kleinste Leistung nur ein Drittel der erforderlichen Höchstleistung ist, 86 v. H. der Gesamtarbeit verrichtet, während für die ergänzende Wärmekraft nur 14 v. H. übrig bleiben[1]). Bei einer derartigen Gestaltung des Betriebes ist ein doppeltes Betriebspersonal wohl kaum erforderlich.

Diese Tatsache wird heute mehr und mehr anerkannt und zutreffend bemerkt Perrine[2]): noch vor kurzer Zeit wurde das Vorhandensein einer Dampf- oder Gasaushilfe in einem hydroelektrischen Werk als ein Zeichen von Schwäche des Wasserkraftwerkes angesehen. Glücklicherweise hat heute diese falsche Anschauung ihre Grundlage verloren und man hat eingesehen, daß der Ingenieur mit Vorteil von einer solchen Vereinigung Nutzen ziehen kann, und Wasserkräfte, die früher vernachlässigt wurden, sind dadurch nutzbar geworden.

Kein hydroelektrisches Unternehmen sollte heute geplant werden, ohne die Verwendung einer Dampfaushilfe zu untersuchen. Mitunter

1) Versorgung der Städte mit Elektrizität.
2) Engineering News 10. 1. 07, S. 39.

kann dabei in Betracht kommen, die ergänzende Dampfkraft erst für den späteren Ausbau des Wasserkraftwerkes in Betracht zu ziehen. Das ist sehr naheliegend, weil bei Inbetriebsetzung der Werke nicht gleich die volle Inanspruchnahme vorhanden zu sein pflegt und man vorläufig auch in trockner Zeit vielleicht noch den Bedarf decken kann.

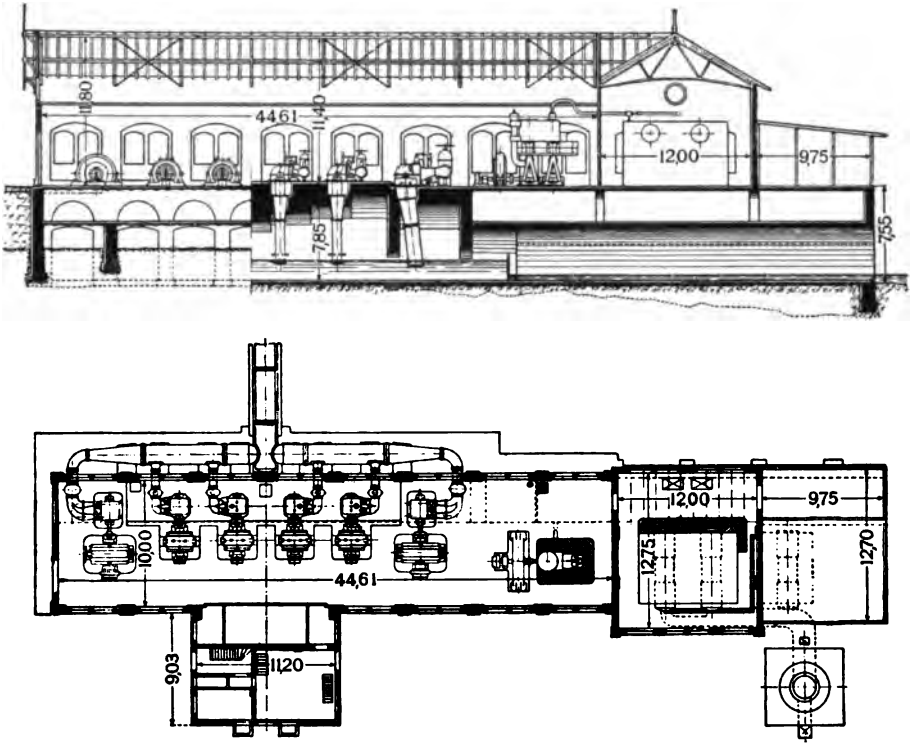
Weiterhin erweist die Praxis, wie in vorteilhafter Weise bestehende Dampfwerke zur Ergänzung von Wasserkräften herangezogen werden können. Zentralwerke, die öffentlichen Zwecken dienen und an die viele kleine Werkstätten und Lichtanlagen angeschlossen sind, müssen aus Gründen der Betriebssicherheit ohnehin einige Maschinensätze — vielleicht je einen auf 3 bis 4 Einheiten — zur Aushilfe haben. Dieser Umstand wie die erwähnte, meist nur teilweise Belastung geben ständig eine freie Dampfkraft, die für die Wasserkraft eintreten kann, wenn solche in trockner Zeit stark zurückgeht. Es ist also, ohne daß eine Dampfanlage über das an sich notwendige Maß vergrößert würde, die gegenseitige Ergänzung und zwar um so mehr vorhanden, als in der knappen Wasserführung des Sommers der geringere Energiebedarf für Lichtzwecke vorhanden ist. Eine derartige aus den Ergebnissen und Forderungen des Betriebes hervorgegangene Verbindung weisen z. B. die städtischen Wasserkraft-Elektrizitätswerke in Solingen und Nordhausen auf, s. Abschnitt IV C und V, 2, H. Auch in Schlesien hat man den ursprünglichen Plan, zur Ergänzung der Talsperrenkraftwerke von Marklissa und Mauer ein besonderes Dampfkraftwerk zu errichten, aufgegeben und zieht die Betriebsvereinigung mit einem schon vorhandenen Dampfelektrizitätswerk vor. Ferner sind hier zu erwähnen die Werke von München, Stuttgart, Schweinfurt, das schweizerische Werk Kubel (Abb. 211) u. a. Viele gemeinsame Betriebe dieser Art finden sich auch in Amerika, wo man dieser Frage große Aufmerksamkeit zuwendet.

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer solchen Betriebsgemeinschaft im gegebenen Falle wird eine genaue Aufrechnung nötig sein. Die Betriebskosten, die sich dabei für die Krafteinheit von 1 PS. ergeben, werden erkennen lassen, ob das Unternehmen in Wettbewerb treten kann mit einer reinen Wärmekraftanlage. Weiteres hierüber in Abschnitt IV.

Wasserkraftnutzung an Kanälen und kanalisierten Flüssen.

Die Frage der gemeinsamen Arbeit von Wasser und Wärme hat in neuerer Zeit eine regere Anteilnahme an den kanalisierten Flüssen ge-

wonnen, deren Schleusengefälle für die Krafterzeugung auszunutzen man bestrebt ist. Der geringere Wasserbedarf für die Schiffahrt, der sich auf den Verbrauch beim Durchschleusen der Schiffe beschränkt[1]), läßt hier die Verwertung des größten Teiles vom natürlich vorhandenen Wasser-



Nach Elektr. Zeitschr.

Abb. 211. Wasserkraftwerk mit Dampfaushilfe (Elektrizitätswerk Kubel).

Maschinenstärke: 4 Turbinengruppen von je 500 PS., 2 Turbinengruppen von je 1000 PS., 1 Dampfdynamo von 1000 PS. Die Dampfaushilfe tritt während 30 bis 50 Tagen im Jahre in Tätigkeit. Doppelturbinen mit 6 m Sauggefälle und 300 bis 375 Umdrehungen in der Minute. Dampfanlage: Senkrechte Verbundmaschine mit 2 Wasserrohrkesseln. 150 Umdrehungen.

abfluß für Kraftzwecke zu. Da an den Flüssen Hochwasser und Eisgang die Niederlegung der Wehre notwendig machen, wodurch das Gefälle beseitigt wird, so ist hier eine Wärmekraftaushilfe im allgemeinen in der

1) S. S. 87.

vollen Stärke der Wasserkraft erforderlich. Nach dieser Richtung hin unterscheiden sich die Stauanlagen der neueren Kanalisierungen von den älteren Unternehmungen dieser Art. Die alten Wehre wurden in der Regel fest und mit hochliegendem Rücken erbaut; jetzt werden die Wehre beweglich gemacht. Die ältere Anordnung ist zwar der Kraftausnutzung günstiger, indem dabei das Gefälle nicht zu stark schwankt und auch bei höheren Wasserständen nicht ganz verschwindet, aber der Vorflut oft nachteilig[1]). Bei den neueren Konstruktionen hat das Wasser und der Eisgang nach der Wehrniederlegung einen ungehinderten Abfluß.

Für den Wehrabschluß bei Staustufen für die Zwecke der Schiffahrt und Wasserkraftnutzung kommen in Betracht:

Walzenwehre,
Nadelwehre,
Schützenwehre.

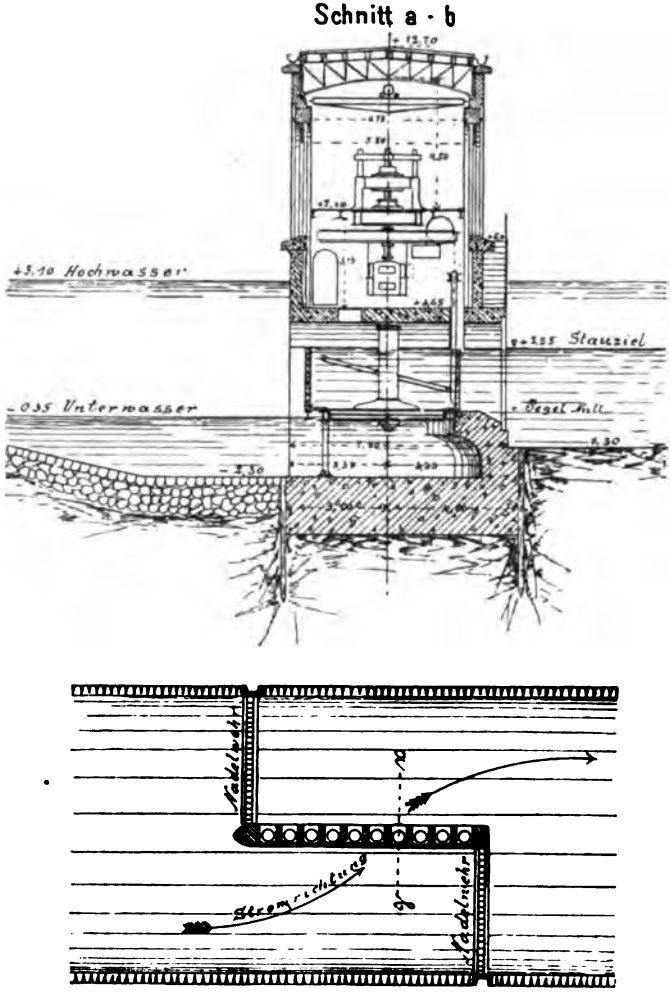
Die Walzenwehre können im allgemeinen als zweckmäßig gelten, doch sind die Anschaffungskosten ziemlich hohe; über den Betrieb liegen noch nicht ausreichend Erfahrungen vor. Aber es hat sich immerhin schon gezeigt, daß die Eisbildung ihre Beweglichkeit sehr wohl beeinträchtigen kann. Man hat deswegen wohl geplant, die in Betracht kommenden Eisenteile der Walze und des Zahnradgetriebes zu Frostzeiten elektrisch zu heizen. Die Hubhöhe beim Freimachen der Wehröffnung ist bedeutend, wenn eine damit abgeschlossene Wehröffnung bei H.W. als Schiffsdurchlaß dienen soll. Darum müssen die Walzen um etwa 4 m über den höchsten schiffbaren Wasserstand gehoben werden.

Die Nadelwehre werden für Stauhöhen bis etwa 3,5 m bei Flußkanalisierungen auch für die Ausnutzung der Wasserkräfte als sehr brauchbar angesehen. Durch Lehm, Dünger, Asche u. a. m. der die Stauung bewirkenden Holznadeln kann ihre ausreichende Dichtung erzielt werden[2]), sodaß auch bei der Wasserkraftnutzung, wo jeder Wassertropfen den Verlust eines wirtschaftlichen Wertes bedeutet, und überhaupt bei kleinen Abflußmengen dieser Umstand wesentlich mitspricht. Jeden-

1) Röder, Ausnutzung der Wassergefälle zu Kraftzwecken. VII. intern. Schiffahrtskongreß 1898.

2) Über günstige Erfahrungen bei der Abdichtung des Nadelwehres in Saarbrücken mit Pferdedünger s. Zeitschrift »Glückauf« 1906 S. 466. Weniger zweckmäßig erwies sich hier Segeltuch und Gummistreifen.

falls werden im allgemeinen Nadelwehre billiger als Walzen- und Schützenwehre sein, da sie keinen hochwasserfreien Aufbau nötig haben, wie dies bei letzteren der Fall ist.



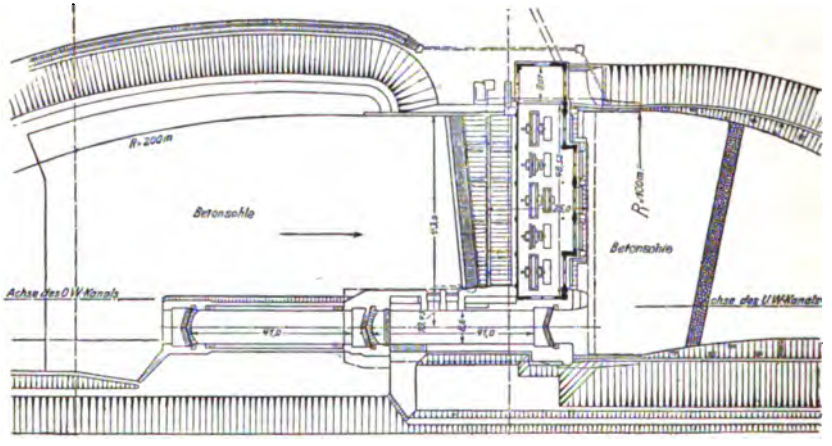
Nach Prüsmann, Wasserkräfte an Wehren.

Abb. 212. Hochwasserfreier Turbinenpfeiler mit Nadelwehr, mitten im Fluß liegend.

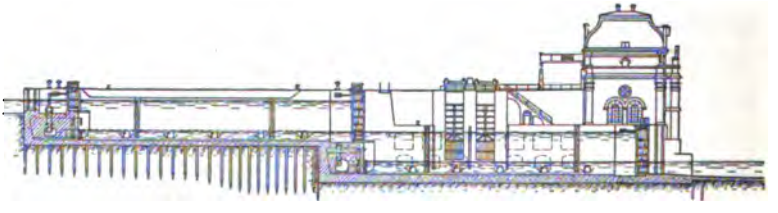
Die Niederlegung der Wehre erfolgt bei Eintritt von Eisgang bei jedem Wasserstande. Außerdem bei Hochwasser, wenn der Unterschied zwischen Oberwasser und Unterwasser etwa 50 cm ist, ein Maß, das

sich als Erfahrungssatz am Main ergeben hat. Dann ist bei steigendem H. W. noch gerade Zeit, die Nadeln zu entfernen.

Auch das Schützenwehr dürfte sich in der Ausführung im allgemeinen billiger als das Walzenwehr stellen und findet neuerdings bei den hier in Rede stehenden Ausführungen wiederum erhöhte Beachtung, weil ihm gegenüber den Nadelwehren ein dichterer Verschluß und eine sicherere und billigere Bedienung nachgerühmt wird. Die Schützen-



Ungef. Maßstab 1 : 2000.



Nach d. Bayr. Ind.- u. Gewerbeblatt.

Abb. 213. Kraftwerk mit Schleusenanlage in einem Seitenkanal (Gersthofen am Lech). Maschinenstärke: 5 Francis-Doppelturbinen von je 1500 PS. Schleusenanlage: zwei hintereinander geschaltete Kammerschleusen von 8,6 m lichter Weite und 41 m nutzbarer Länge. Gesamte Gefällhöhe: 10,0 bis 10,5 m.

wehre haben, wie die Walzenwehre, vor den Nadelwehren den Vorzug, daß sie bei eintretendem H. W. und Eisgang länger stehen bleiben können. Dieser Umstand macht sie für die Wasserkraftnutzung, wo man bestrebt sein muß, die Unterbrechungen des Kraftbetriebes auf ein Mindestmaß einzuschränken, besonders geeignet.

Nach den Mitteilungen von Werneburg [1]) wird die Beseitigung der Schützentafeln und Ständer (Griessäulen) beim Schützenwehr mit Kurbelbetrieb von nur 3 Mann schnell und sicher besorgt, während zum Abbau eines Nadelwehres von gleicher Länge 10 bis 12 besonders eingeübte Leute erforderlich sind, die der Gefahr dieser Arbeit entsprechend hoch bezahlt werden müssen. Die Betriebskosten beim Nadelwehr sind nach diesen Angaben in jedem Falle, abgesehen von dem starken Verbrauch der Nadeln (etwa 10 bis 15 v. H. im Jahre) erheblich größer als die des Schützenwehres.

Über den von der Direktion für den Bau von Wasserstraßen in Wien ausgeschriebenen Wettbewerb um Entwürfe für bewegliche Flußwehre,

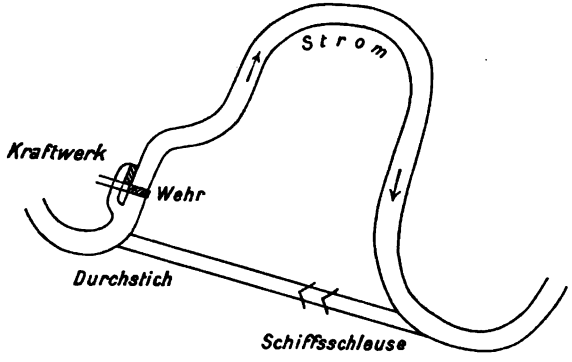


Abb. 214. Kraftgewinnung an einem schiffbaren Fluß durch Abschneiden einer Flußschleife mittels Durchstich.

die auch im Winter stehen bleiben können, siehe Zentralblatt der Bauverwaltung 1906, Österr. Wochenschr. für d. öff. Baud. 1906 u. a. O. Eingehende Mitteilungen über Segment- und Walzenwehre und ihr Kosten s. Zentralbl. d. Bauverw. 1907, S. 594.

Die Lage des Kraftwerkes wird im Flusse selbst (Abb. 212) oder in einem seitlichen Arm (Triebwerkkanal, Abb. 44 und 213) gewählt. Über die Zweckmäßigkeit beider Arten gehen die Ansichten auseinander. Als Vorteil der Anlage eines Pfeilers mit Kraftgebäude im Strom wird hervorgehoben, daß für den Bau die Ufer nicht in Anspruch genommen werden, wohingegen der Nachteil darin besteht, daß diese Anordnung nur möglich ist, wenn das Kraftwerk gleichzeitig mit dem Wehr hergestellt wird.

1) Denkschrift über die Rentabilität der Saarkanalisierung. S. 11.

Bei Anlage eines seitlichen Triebwerkkanals kann diese Entscheidung beliebig hinausgeschoben werden. Diese Bauart ist auch insofern günstiger, als sie für die Raumbemessung und -Verteilung mehr Spielraum läßt. Die Sicherung gegen Verunreinigungen und ein ruhiger Eintritt des Wassers in die Turbinen wird besser ermöglicht werden können. In Gersthofen wie auch bei der unten erwähnten Anlage von Jonage an der Rhone liegen Kraftwerk und Schleusen in einem langen Seitenkanal von 7,3 bezw. 19 km. Auch die eingehenden Untersuchungen des österreichischen Wasserstraßenbeirates über die Ausnutzung der Wasserkräfte beim Bau der neuen Wasserstraßen[1]) kommen zu dem Ergebnis, daß es

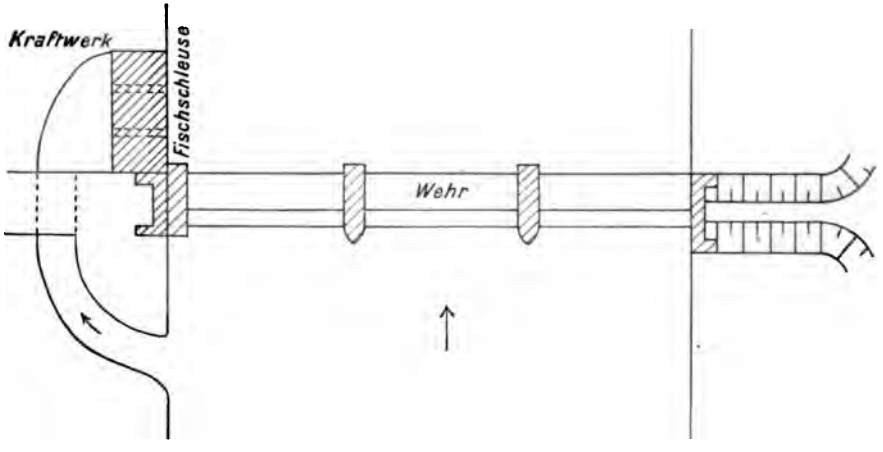


Abb. 215. Kraftgewinnung an einer Flußschleife mittels Durchstich. Lage des Kraftwerkes neben dem Wehr.

zweckmäßig erscheint, die Kraftwerke nicht bei den Wehren, sondern am Ende oder in der Mitte längerer Seitenkanäle anzulegen, wodurch man eine stärkere Ausnutzung der Wasserkraft erhofft. Dabei darf man im Schiffahrtsinteresse kein Bedenken tragen, die Wassergeschwindigkeit in den Schleusenkanälen auf etwa 40 bis 60 cm/sek. zu bemessen.

Es ist sicher, daß man auf letztere Weise eine größere Nutzhöhe gewinnt, und die Niederlegung des Wehres wird auf das Gesamtgefälle einen geringeren Einfluß ausüben. Die vermehrten Kosten des Seitenkanals finden hierin ein Gegengewicht, sowie auch in dem Umstande, daß gegebenenfalls das Wärmeaushilfswerk fortfallen kann oder nur in

1) Österreich. Wochenschr. f. d. öffentl. Baudienst 1905, Heft 15, 21 u. 22.

kleinerem Umfange notwendig werden wird. Jedenfalls wird diese Frage im Einzelfalle der Untersuchung bedürfen. Es empfiehlt sich im übrigen, im Flußlaufe in einiger Entfernung vor dem Wehre Einrichtungen zu treffen, die geeignet sind, treibende Schiffe aufzuhalten und sie vor der Gefahr des Kenterns zu bewahren.

Wenn an Stelle einer langen, der Schiffahrt hinderlichen Flußschleife ein Durchstich mit Schleusenanlage hergestellt werden soll (Abb. 214), so liegt der Gedanke nahe, das Kraftwerk neben die Schleuse zu legen. Dann würde das Gefälle der Schleuse für Kraftzwecke gewonnen werden und es würde z. B. bei Niederlegung des Wehres im Strome das Gefälle nie ganz verloren gehen, sodaß vielleicht die Dampfreserve entbehrt oder zum mindesten entsprechend kleiner gehalten werden könnte.

Diese Anlage würde gegenüber der Lage des Kraftwerkes am Flußlaufe (Abb. 215) allerdings teurer werden, weil der Oberkanal der Schleuse aufnahmefähig für das ganze Kraftwasser gemacht werden müßte, während er, falls das Kraftwerk neben dem Wehr angeordnet wird, nur Schiffahrtszwecken dient. Oft steht auch das landwirtschaftliche Interesse der Anlieger der Schleife entgegen. Denn den Grundstücken an der Schleife würde bei Vereinigung des Kraftwerkes mit der Schleuse das Wasser entzogen werden.

Ausgeführte Anlagen zum gemeinschaftlichen Betrieb für Schiffahrts- und Kraftzwecke.

Die Kraftausnutzung an den Schleusengefällen gewinnt vermehrte Bedeutung, da der Kraftbedarf für Schiffahrtszwecke in neuester Zeit zunimmt. Der lebhafte Schiffsverkehr verlangt eine Beleuchtung der Schleusen an den Abenden und zur Nachtzeit; gegebenenfalls kann dies für eine Schiffahrtsstraße, die stark befahren wird, in ihrer ganzen Länge nötig werden. Der elektrische Antrieb erleichtert die Bewegung der Schleusentore, Schützen, Spills u. a. m. In besonderem Maße aber wird Kraft erforderlich bei der Einführung des mechanischen Schleppzuges.

Wohl die älteste Art der Ausnutzung der Wasserkräfte für Schiffahrtszwecke bietet in Deutschland der Oberländische Kanal bei Elbing, an dem die Kraft für den Schleppzugbetrieb auf den 5 schiefen Ebenen an den einzelnen Gefällstufen (19 bis 25 m) gewonnen und durch Seilantrieb nutzbar gemacht wird.

Auch die Kraftausnutzung an den kanalisierten Flüssen hat zum Teil schon praktische Gestaltung angenommen. Dabei hat die gewerbliche Betätigung eine nicht unerhebliche Belastung, z. B. bei dem vorerwähnten Elektrizitätswerk Gersthofen erfahren. Dieses Werk hat zugleich mit der Genehmigung die beträchtlichen Kosten für die Herstellung von Floßschleusen und zwei hintereinander geschalteten Kammerschleusen von 8,6 m l. W. und 41 m Länge, sowie für den erweiterten Ausbau des Betriebskanales für Schiffahrtszwecke übernehmen müssen[1]). Immerhin erweist sich die Verwertung der erschlossenen 6000 PS. günstig. Es sei ferner bemerkt, daß Frankreich in dem Werke Jonage der Stadt Lyon eine solche gemeinschaftliche Betriebsanlage für Schiffahrts- und Kraftzwecke besitzt (s. Abb. 28). Auch hier sind 2 Schleusen hintereinander geschaltet von 4,8 bzw. 6,2 m Gefälle[2]). Über gleiche Einrichtungen an den oberitalischen Flüssen vergleiche man u. a. den Bericht von H. Keller über den zehnten internationalen Schiffahrtskongreß in Mailand im Zentralbl. d. Bauverw. 1905 und Allgem. Bauztg. 1906 S. 34. Über die Hebung von Speisungswasser für Kanäle bei Verwertung der Wasserkraft am Kanal von Burgund s. Handb. d. Ing. Wiss. III. Teil V. Bd. S. 190 und den Aufsatz von Bubendey. Zeitschr. f. Binnenschiff. 1898 S. 382.

Eine Kraftausnutzung in größerem Maße findet auch an dem Nadelwehr der kanalisierten Saar bei Saarbrücken statt. Die Königl. Bergverwaltung betreibt hier seit dem Jahre 1905 ein Kraftwerk von rd. 200 PS. Leistung. Die mechanische Arbeit des Wassers wird in elektrischen Strom umgesetzt und für den Hafenbetrieb und Wasserhebung genutzt. Bei Hochwasser und Eisgang stehen Dampfmaschinen zur Verfügung. Dieser Ausnahmefall kann im Durchschnitt an 36 Tagen im Jahre erwartet werden. An 10 Tagen im Jahre sind 7,7 cbm/sek. bei 2,0 m Gefälle, an 234 Tagen 9,80 cbm bei ebenfalls 2,0 m, an 79 Tagen 9,80 cbm bei 1,50 m und an 6 Tagen 9,80 cbm/sek. bei 0,80 m Gefälle vorhanden. Die Maschinenleistung ist also auf die an 234 Tagen nutzbare Wasserkraft bemessen.

Die Anordnung des Kraftwerkes (Abb. 216) ergab sich daraus, daß man zugleich eine kräftige Wasserspülung des Hafenbeckens erzielen wollte. Der Verbindungskanal zwischen Hafen und Unterwasser des

1) Die Elektrizitätswerke in Gersthofen. Bayr. Industrie- u. Gewerbeblatt 1904.
2) Zentralbl. d. Bauverw. 1900 S. 407.

Wehres hat solche Abmessungen, daß 10 cbm/sek. hindurchgeleitet und das Gefälle von 2,0 m in den Turbinen ausgenutzt werden kann. Der Einlauf ist durch einen eisernen Rechen abgeschlossen, außerdem ist Dammbalkenverschluß vorgesehen. Ein Umlauf ermöglicht bei Stillstand des Kraftwerkes 1 cbm/sek. aus dem Hafen zur Saar zu leiten. Die beiden Turbinen von je 100 PS. Leistung sind Francis-Turbinen mit je 45 Umdrehungen in der Minute. Die Anlagekosten betrugen:

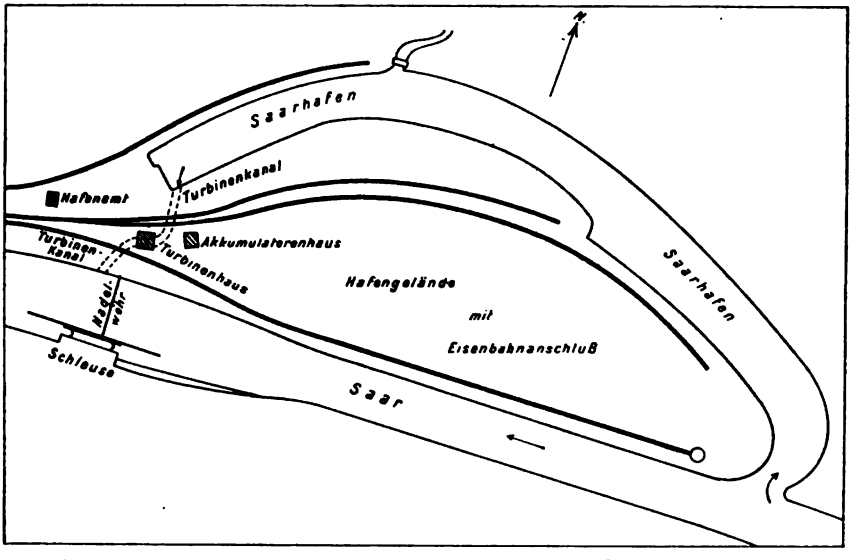


Abb. 216. Lageplan der Kraftanlage an der kanalisierten Saar bei Saarbrücken. Gewonnene Kraft = ~ 200 PS.

Bauanlagen . .	142 200 Mk.
Maschinenanlagen	58 700 »
Zusammen	200 900 Mk.

Das Werk arbeitet zur Zufriedenheit und trotz der hohen Herstellungskosten gewinnbringend[1]). Es ist besonders kennzeichnend und für die Wasserkraftnutzung günstig, bemerkt treffend Werneburg[2]), daß gerade die Bergverwaltung, die doch reichlich über gute Kohlen verfügt, diese sich zur Verwertung einer Wasserkraft bietende Gelegenheit wahr-

1) Zeitschrift »Glückauf« 1906 S. 463.

2) Denkschrift über die Rentabilität der Saarkanalisierung unter Berücksichtigung des Schleppmonopols. S. 37.

genommen hat. Dieser Umstand beweist besser als Berechnungen den Nutzen und die Zweckmäßigkeit solcher Wasserkraftwerke.

Die Möglichkeit, die Wasserkräfte an den kanalisierten Flüssen zu verwerten, liegt im allgemeinen nur insoweit vor, als sich hier die Interessen der Schiffahrt und Landwirtschaft mit denen der Kraftgewinnung vereinigen lassen. Die Anlage von Saarbrücken ist die erste größere Ausführung dieser Art in Preußen. Es mag darum interessieren die Bedingungen kennen zu lernen, unter denen die Preußische Wasserbauverwaltung der Bergverwaltung die Genehmigung zum Bau und Betriebe dieser Anlage erteilt hat. Diese Bedingungen lauten:

1. Die Genehmigung zur Entnahme von Wasser aus der Saar zur Ausnutzung des Wehrgefälles bei Saarbrücken wird widerruflich erteilt.
2. Die Bergverwaltung erwirbt keinen Anspruch auf eine bestimmte Wassermenge. Es kann ihr vielmehr nur diejenige Wassermenge überlassen werden, die jeweilig zum Schiffahrtsbetriebe nebst allen dazu gehörigen vorhandenen oder noch zu errichtenden Anlagen nicht erforderlich ist.
3. Der Werkkanal muß teilweise oder ganz geschlossen werden, wenn bei stehendem und geschlossenem Nadelwehre das Oberwasser unter den normalen Stau fällt. Der mit der Leitung der Verschlußeinrichtungen des Werkkanals Beauftragte hat in dieser Hinsicht den Weisungen der Wasserbauverwaltung unbedingte Folge zu leisten.
4. Alle etwa zur Verringerung der Wasserverluste am Wehre von der Bergverwaltung gewünschten Maßnahmen werden, wenn sie unbedenklich sind, seitens der Wasserbauverwaltung für Rechnung der Bergverwaltung ausgeführt.
5. Die zur Beleuchtung der Schleusen- und Wehranlage, sowie zum Betriebe der Schleuse oder der Schiffahrt demnächst etwa erforderliche elektrische Kraft hat die Bergverwaltung der Wasserbauverwaltung für eine mäßige, nach dem Selbstkostenpreise zu bemessende Vergütung zu überlassen und zu dulden, daß die nötigen Leitungen dazu mit allem Zubehör über das bergfiskalische Gelände geführt werden.
6. Der Aufenthaltsraum des Wärters der Turbinenanlage ist mit dem Schleusenmeisterwohnhause in telephonische Verbindung zu setzen.

Ein Beispiel in Frankreich bietet u. a. die Kraftnutzung an der schiffbaren Mayenne bei Laval (Abb. 217). Die drei Kraftwerke von Roche-

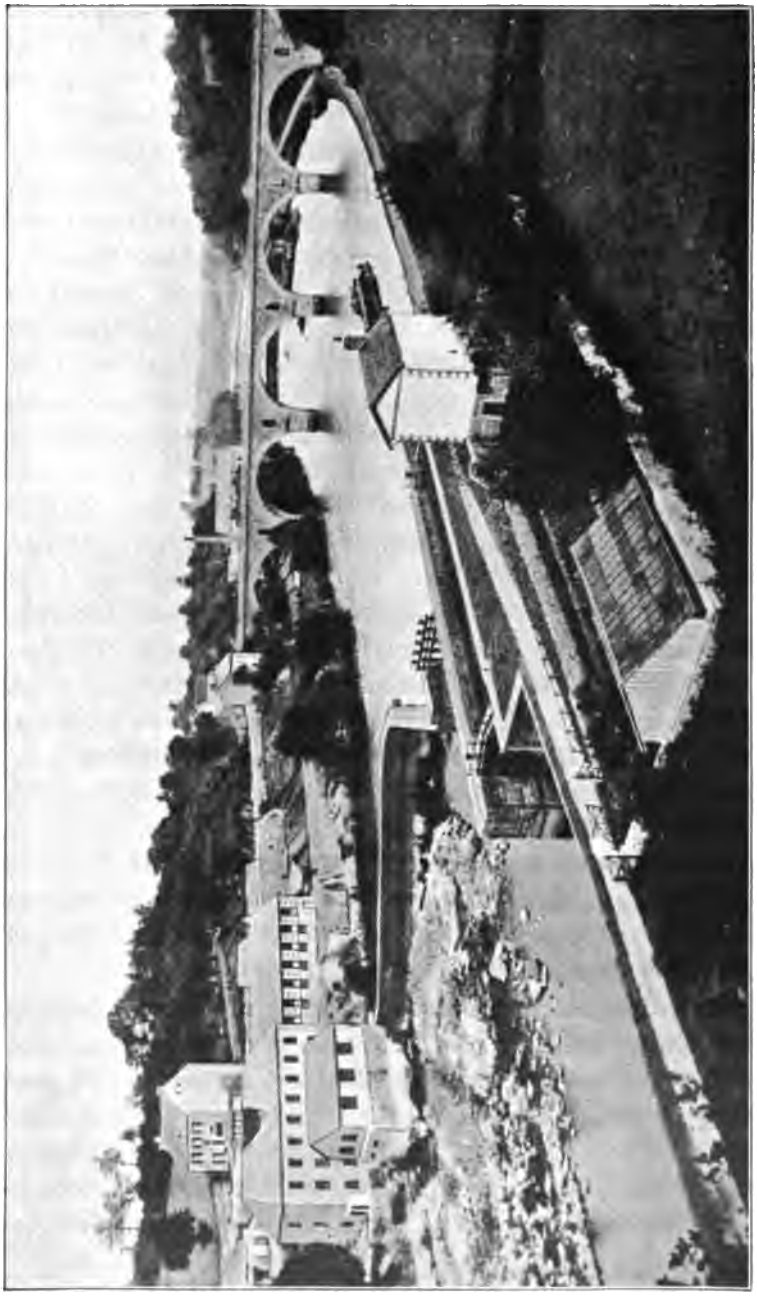


Abb. 217. Kraftausnutzung an der schiffbaren Mayenne bei Laval (Frankreich).
Die drei Kraftwerke von Rochefort gewinnen an 3 Staustufen 800 PS. (Ansicht bei aufgehobener Stauung.)

fort vereinigen hier die Kraft von 800 PS. an 3 Staustufen, die innerhalb einer Flußstrecke von einem Kilometer Länge liegen. Jede Staustufe ist neben dem Wehr mit einer Schiffsschleuse ausgestattet und hat ein Gefälle von 2,75 m. Die gewonnenen Einzelleistungen betragen 300, 200 und 300 PS. und stehen durch elektrische Übertragung miteinander in Verbindung. Die Kraft wird für metallurgische Zwecke verwertet[1]).

Weiterhin ist hier zu erwähnen die Ausnutzung der Wasserkraft der Weser bei Hastedt (Hemelingen) durch die Stadt Bremen (Abb. 218). Die Anlage der Staustufe erfolgt hier in erster Linie für Zwecke des Schiffahrtsbetriebes und der Landwirtschaft. Der Wasserstand der Weser wird durch ein regulierbares Wehr gehoben. Zwar reicht der Wert der gewinnbaren Wasserkraft allein nicht aus, um das für die Gesamtanlage (Schleusen, Wehr und Wasserkraftnutzung) aufzuwendende Kapital zu decken; aber es bedarf neben den Stauanlagen, die zur Hebung des Wasserstandes an sich notwendig werden, nur einer verhältnismäßig kleinen weiteren Summe, um zwischen Wehr und Schleusen eine Turbinenanlage zu schaffen.

Die Wassermengen und das Gefälle schwanken sehr erheblich; die Wassermenge von 100 bis 2000 cbm sek., das Gefälle von 0 bis etwa 6 m, woraus eine schwierige turbinentechnische Aufgabe erwächst. Während einiger Tage im Jahr fehlt die Wasserkraft ganz — bei Hochwasser und Eisgang. Dann bilden die vorhandenen Dampfelektrizitätswerke der Stadt Bremen den Ersatz. Die Wasserkraft ist bis zu 12000 PS. stark.

Die bestehende alte Dampfanlage in Bremen hat 2800 PS. Das neu ausgeführte Dampfelektrizitätswerk hat vorläufig eine Stärke von 3200 PS. erhalten, die Vergrößerung auf etwa die doppelte Größe und gegebenenfalls mehr ist aber vorgesehen[2]).

Die seit einigen Jahren lebhaften Bemühungen, die Schiffahrtsverhältnisse auf dem Rhein oberhalb Straßburg zu verbessern, haben sich neuerdings auch dem Rhein oberhalb Basel zugewandt. Es kann nicht geleugnet werden, daß die ersteren Bestrebungen erfolgreich gewesen sind. Die bei Mühlhausen geplanten Rhein-Kraftwerke nahmen nach dem ursprünglichen Projekt (1902) auf die Schiffahrt keinerlei Rücksicht. Nach dem neuen Entwurf soll eine Schiffsschleuse im Betriebs-

1) Bresson, La Houille Verte.
2) Journ. f. Gasbel. u. Wasservers. 1906 S. 933.

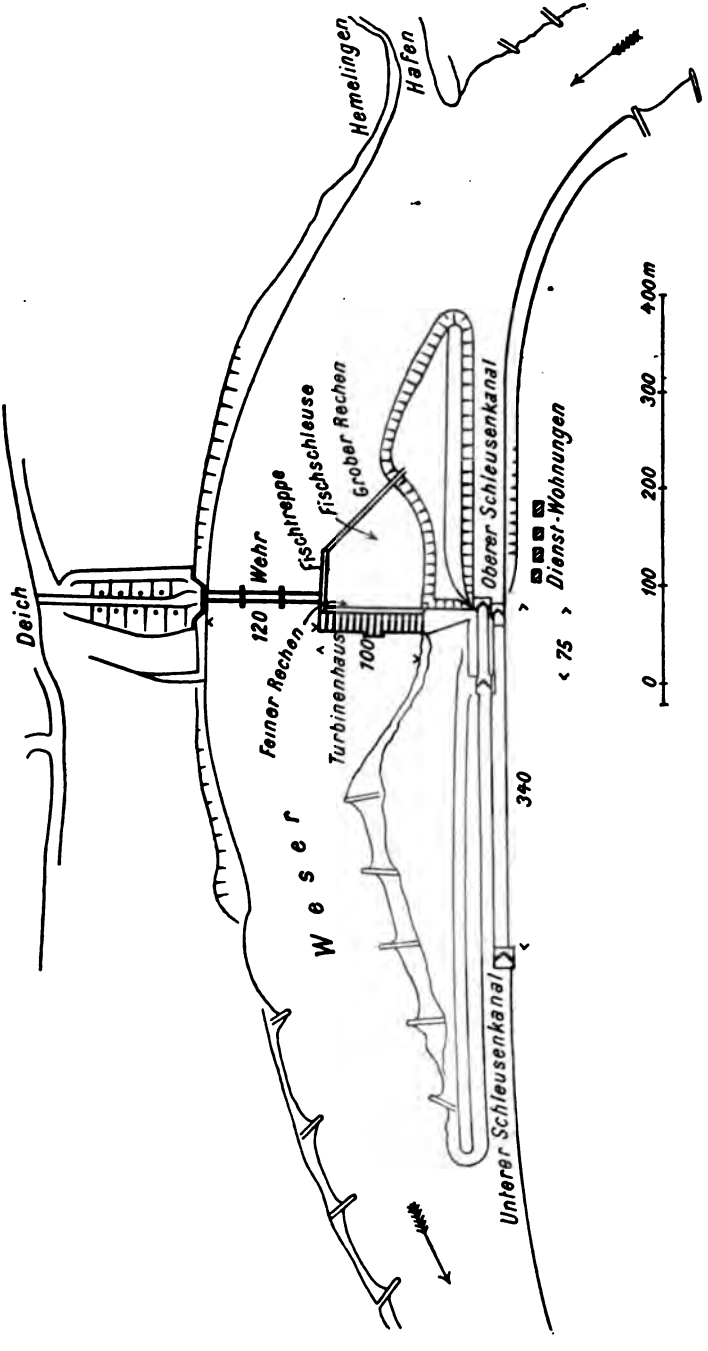


Abb. 218. Schleusenanlage mit Wasserkraftnutzung an der Weser bei Hastedt (Hemelingen).
Schleppzugschleuse 340 m lang. Einfache Schleuse 75 m lang.
Turbinenhaus rd. 100 : 20 m. Das Wehr hat rd. 120 m lichte Weite.

kanal von reichlichen Abmessungen vorgesehen werden, die die Ermöglichung der Großschiffahrt für die Zukunft offen halten wird. Der Rhein soll hier gestaut und in einen 8 km langen Seitenkanal umgeleitet werden, wodurch ein Gefälle von 8 bis 10,8 m und mit der zur Verfügung stehenden Wassermenge von 250 cbm/sek. eine Kraft von rd. 32000 PS. gewonnen werden kann. Der Kanal, der im Oberwasser eine Sohlenbreite von 65 m und eine Tiefe von 6 bis 7 m erhalten soll, soll zugleich der Schiffahrt dienen und wird eine Wassergeschwindigkeit von 0,6 m bis 1,0 m besitzen. Am Kraftwerk ist eine Schiffsschleuse für die Bedürfnisse der Großschiffahrt vorgesehen.

Vielleicht ermutigt durch diese Entwicklung stellt man jetzt die Forderung, daß auch bei Genehmigung der Kraftwerke oberhalb Basel auf die künftigen Bedürfnisse der Schiffahrt Rücksicht genommen wird. Man erkennt, daß aus dem künstlichen Aufstau des Stromes an den Gefällstufen der Kraftwerke auch der Schiffahrt große Vorteile erwachsen können, indem die Hindernisse der Stromschnelle gemildert bezw. beseitigt werden. Es wird daher angestrebt, jede Kraftwerksanlage so zu treffen, 1. daß der spätere Einbau einer Großschiffahrtsschleuse von 25 m Lichtweite und 150 bis 250 m Länge möglich ist und daß 2. die Ober- und Unterkanäle da, wo die Schiffahrt es erfordert, zur Aufnahme von Schleppzügen mit Raddampferbetrieb eingerichtet werden[1]).

In entsprechender Weise soll beim Bau neuer Brücken auf die Erfordernisse der Schiffahrt Rücksicht genommen werden.

Die Kraftanlage von Rheinfelden ist noch ohne Einrichtungen für den Schiffahrtsbetrieb ausgeführt werden. Auch das Kraftwerk Laufenburg ist ohne entsprechende Einrichtungen genehmigt und in der Ausführung begriffen. In letzter Stunde hat man somit den Gedanken aufgenommen, die Schiffahrt auf dieser Strecke nicht endgültig auszuschalten, sondern durch Verbindung von Schleusen mit dem Betriebskanale beide Wirtschaftsgebiete zu fördern[2]).

Die Ausnutzung der Schleusengefälle für die elektrischen Schleuseneinrichtungen und die Beleuchtung findet seit kurzem am Oder-Spreekanal sowie an der kanalisierten Moldau statt. Anfänglich erfolgte am Oder-Spreekanal seit Inbetriebnahme des Kanals im Jahre 1891 — ebenso wie an der Mühlendammschleuse in Berlin — die Um-

1) Schweiz. Bauz. 1907 S. 27.
2) Das Schiff 1907 S. 178.

setzung der Wasserkraft in Druckwasser, womit die Schleusentore und Schützen bewegt wurden.

Bei den Schleusen von Münster und Gleesen am Dortmund-Emskanal findet ebenfalls eine Ausnutzung des ansehnlichen Gefälles von 6,2 bzw. 6,1 m statt, obwohl diese Kanalstrecke künstlich gespeist wird[1]). Als Kraftmaschine für die Bewegungsvorrichtungen der Umlaufverschlüsse, Torschütze, Spille usw. dient eine Turbine von 11 PS. Leistung, die in einem auf der rechten Seite des Unterhauptes angeordneten Schacht aufgestellt ist (Abb. 219). Die gußeiserne Muffenrohrzuleitung von 0,85 m Durchmesser zieht sich neben den Sparbecken hin. Der Abfluß aus der Turbine geschieht durch ein Zementrohr. In dem kleinen Maschinenhause ist außer der Turbine ein Gleichstrom-Dynamo, die Schalteinrichtung, eine Sammlerbatterie und ein Arbeits- und Geräteraum

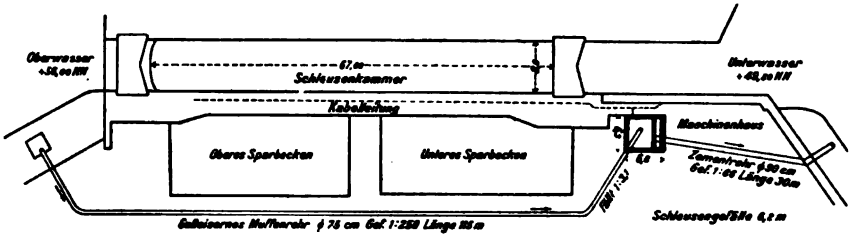


Abb. 219. Wasserkraftnutzung an der Schleuse bei Münster (Dortmund-Emskanal).

untergebracht. Die elektrischen Leitungskabel liegen oben auf beiden Schleusenmauern in Kanälen, die mit Riffelblech abgedeckt sind. Die 12 Elektromotoren an den verschiedenen Arbeitsstellen können vom Maschinenhause aus gesteuert werden, wobei Vorsorge getroffen ist, daß die Bewegung der Verschlüsse im Notfalle von Hand geschehen kann.

Allgemein sei zu dieser Frage bemerkt:

Nach den Untersuchungen von Giller über den zweckmäßigsten Betrieb an Schleusen besteht der Vorteil des pneumatischen Betriebes in der Unabhängigkeit von den störenden Einflüssen der Feuchtigkeit in den Leitungskanälen. Dem stehen als Nachteil gegenüber die Störungen durch Rohrbruch und Undichtigkeit in den Leitungen, sowie durch Frostwetter.

1) Zeitschr. f. Bauw. 1901/02.

Der elektrische Betrieb bietet die Vorteile der guten Anpassung an den wechselnden Kraftbedarf, insbesondere durch Akkumulatoren, der leichten Beweglichkeit und Ungezwungenheit der Kraftleitungen.

Für Schleusen erscheint nach dem Ergebnis dieser Untersuchungen wie nach dem Ergebnis der bisherigen Praxis der elektrische Betrieb als der vorteilhafteste. Bei Schleusen geringer Bedeutung kommt aber der an sich billigere pneumatische Betrieb immerhin in Betracht.

Der elektrische Betrieb darf ferner billiger als der hydraulische gelten. Auch lassen geringere Anschaffungskosten den ersteren vor dem hydraulischen Betrieb bevorzugen. Dem Übelstande der Störung durch Feuchtigkeit in den Kanälen kann bei elektrischem Betrieb durch vollständige Trennung der Motoren von den mechanischen Teilen der Windwerke begegnet werden.

Es ist hervorzuheben, daß es notwendig ist, daß vom Maschinenhause aus eine gute Übersicht über die ganze Schleuse vorhanden ist. Im Betriebe erfolgt meist die Bedienung der einzelnen Motoren für sich. Bei starkem Verkehr kann aber die Anlage einer zentralisierten Stellvorrichtung an einem erhöhten Standpunkt vorteilhaft sein.

Man findet meist, daß bei diesen Einrichtungen die Turbine nahe dem Unterwasser aufgestellt ist. Wie in Münster ist dies auch bei der Kersdorfer Schleuse am Oder-Spreekanal der Fall. Gegenüber der Lage am Oberhaupt besteht dabei der Vorteil darin, daß das Zuleitungsrohr in diesem Falle hoch liegt und leichter zugänglich ist. Das tiefgelegene Abflußrohr ist nur von geringer Ausdehnung.

Die Elektromotore können so gekapselt werden, daß sie bei einer zeitweisen Unterwassersetzung keinen Schaden erleiden und jederzeit betriebsbereit bleiben. Die vorübergehende Unterwassersetzung der Betriebsmotore der Tore, Rollschütze, Spills usw. erscheint darum umsoweniger bedenklich, als bei den Überschwemmungen dieser Betrieb ausfällt. Es ist jedoch notwendig, den Raum, der die Turbine, die Dynamos, Akkumulatoren und die Schaltanlage enthält, hochwasserfrei zu legen bzw. abzuschließen. Dies wird einen kleinen Aufbau bedingen. Im übrigen kann aber durch Fortlassung der hochwasserfreien Schleusenbauteile bei einer im Überschwemmungsgebiet eines Flusses liegenden Schleuse eine wesentliche Ersparnis an Baukosten erzielt werden.

Im allgemeinen ist der Kraftbedarf für die Betriebseinrichtungen einer

mittleren Schleuse etwa 20 bis 30 PS.[1]). Bei diesem elektrischen Kleinbetriebe finden meist Akkumulatoren Verwendung. Sie werden zwischen den Dynamos und dem Kraftverteilungsnetz eingeschaltet, einmal weil ein unmittelbarer Antrieb bei dem nur zeitweisen Gebrauch der Motore zu Stößen Anlaß geben würde, sie wirken dann also als Puffer; dann aber dienen die Akkumulatoren zur Aufspeicherung von Kraft. Die Motore der Schleusentore und Schützen arbeiten mit Unterbrechungen und jedesmal nur kurze Zeit. In den Betriebspausen kann die Kraftaufsammlung erfolgen und dadurch die Leistung in der Zeiteinheit entsprechend vergrößert werden. Für plötzlich wechselnde Änderungen der Belastung — u. a. im Eisenbahnbetriebe oder bei Lasthebemaschinen — ist mitunter ein Schwungrad angewandt worden, um die Spitzen der Belastung zu überwinden. Eine solche Schwungmasse ist bei der Hochdruckpumpenturbine des Solinger Wasserwerkes — Freistrahlturbine nach System Girard — in das Turbinenrad selbst verlegt worden (Abb. 148).

Die Ausnutzung der Gefälle geht an den kanalisierten Flüssen bis auf ein Mindestmaß von etwa 0,5 m herab.

Mit dem elektrischen Schleppzug ist neuerdings am Teltowkanal bei Berlin der Anfang gemacht worden und der Bevergern-Hannover- und Dortmund-Emskanal werden diese Betriebsart voraussichtlich weiter ausbauen. Auch an der Moldau hat man dies geplant. Dazu werden bedeutende Kraftmengen gebraucht und es scheint, daß auf diesem Gebiet die Verwertung der Wasserkräfte, wenn sie in der Nähe der Betriebsstätten gewonnen werden können, berufen ist, eine gewichtige Rolle zu spielen. Günstig fällt bei dieser Kraftverwertung an den kanalisierten Flüssen in die Wagschale, daß in den Zeiten der niedergelegten Wehre auch der Kraftbedarf ruht, wohingegen bei den höheren Wasserständen, die eine Verringerung der Wasserkraft mit sich bringen, die Dampfkraft ergänzend eintreten kann. Zudem werden sich die Interessen des Schiffahrts- und Kraftbetriebes, die vielleicht Reibungsflächen bieten, wenn beide Betriebe getrennte Unternehmungen bilden, günstig ausgleichen, wenn der Staat, der den Schiffahrtsbetrieb leitet und überwacht, zugleich den Kraftbetrieb für Schiffahrtszwecke in der Hand hat.

1) Die Doppelschleusenanlage von Horin (Moldau) hat eine Turbine von 31 PS. Leistung. Näheres über die elektrische Ausrüstung: Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1906 S. 197.

Dieser Weg der Vereinigung der Kraftausnutzung mit den Interessen der Schiffahrt wird heute auch in Amerika beschritten. Am Tennesseeflusse, Tenn., entsteht gegenwärtig eine Kraftanlage für die Nutzbarmachung von 56000 PS. Dieser Fluß setzt der Schiffahrt durch seine Stromschnellen Hindernisse entgegen, und die Regierung ist z. Zt. nicht gewillt, das erforderliche Geld für ihre Beseitigung zu bewilligen, sie hat aber die Anlage des Kraftwerkes an geeigneter Stelle genehmigt. Durch einen 600 m langen wehrartigen Aufbau teils als Mauer, teils in Erdschüttung wird ein Aufstau von etwa 12 m über Niedrigwasser herbeigeführt werden. In dem Damm ist eine Schiffahrtsschleuse vorgesehen, die 90 m Länge, 18 m Breite und 2,50 m Wassertiefe hat. Es ist wahrscheinlich das erste Beispiel, bemerkt die Zeitschr. Eng. Rec., daß privaten Interessen gestattet worden ist, einen Fluß, der so große Bedeutung für die Schiffahrt hat, aufzustauen und die ausnahmsweise Genehmigung ist aus dem Wunsche der Regierung hervorgegangen, die Schiffbarkeit des Tennesseeflusses zu verbessern[1]).

Noch ein anderes Unternehmen, das die Zwecke der Wasserkraftnutzung mit denen der Schiffahrt verbinden will, beschäftigt gegenwärtig amerikanische Ingenieurkreise. Dieses Projekt sieht eine Sperre am Mississippi-Fluß — 10 m hoch, 1800 m lang — und ein Krafthaus von 540 m Länge mit einer Leistungsfähigkeit von 120000 PS. vor. Der Plan hat die Billigung des Kongresses.

Die Schiffbarkeit des Mississippi an jener Stromstrecke wird insofern verbessert werden, als an die Stelle von 3 Schleusen eine einzige Schleuse von 9 m Gefälle in Verbindung mit dem durch die Stauung geschaffenen See treten wird. Die Kosten sollen ungefähr 19 Mill. Mark betragen[2]).

In Schweden wird u. a. die Verwertung der Wasserkräfte der Trollhättan-Fälle, 70 km von Gothenburg entfernt, eine bemerkenswerte Vereinigung von Schiffahrts- und Kraftbetrieb darstellen. Es waren hier bei Aufstellung des Entwurfs zwei wichtige Gesichtspunkte zu berücksichtigen, erstens sollte die Naturschönheit so wenig wie möglich beeinträchtigt werden und zweitens der Verkehr auf dem Schiffahrtskanal mit seinen Schleusen keine Störung erleiden. Der Kanal verbindet den großen Wenersee mit dem Göta-Elf und hat daher für den Handel große Bedeutung.

1) Eng. Rec. v. 4. 11. 1905.
2) Eng. News 23. Aug. 1906.

Die Anlage gelangt gegenwärtig zur Ausführung. An einige Industrielle hat sich der Staat verpflichtet, elektrischen Strom in einer deren Wasserrecht entsprechenden Menge abzugeben.

Die Wassermengen sind an den Einlaufstellen zu den einzelnen Anlagen gemessen. Bei niedrigstem Wasserstande beträgt die Bruttowassermenge 320 cbm/sek. Davon ist das Wasser für den Schiffahrtskanal im Betrage von 62 cbm abzuziehen; ferner sind noch etwa 8 cbm für eine kleinere, fast neue Wasserkraftanlage abzusetzen, sodaß 320 $-$ (62 $+$ 8) $=$ 250 cbm/sek. verfügbar sind.

Das Gesamtgefälle beträgt reichlich 30 m; demnach beläuft sich die ausnutzbare Gesamtenergie auf mindestens 75000 PS. oder rund 50000 K.W. Von dieser Leistung gehen 2050 PS. ab, auf welche die vorerwähnten Werke Anspruch haben[1]).

Über die wirtschaftliche Bedeutung der Wasserkraftnutzung an Kanälen und kanalisierten Flüssen s. Abschn. IV, C.

1) Nach Zeitschr. d. Ver. d. Ing. 1907.

IV. Die wirtschaftlichen Grundlagen zur Ausnutzung der Wasserkräfte.

A. Allgemeines.

Man muß sich vergegenwärtigen, daß beim Ausbau einer Wasserkraft nicht lediglich technische und konstruktive Gesichtspunkte zu beachten sind, sondern daß noch andere grundlegende Erwägungen Platz greifen müssen. Als solche Einflüsse auf die bauliche Gestaltung seien hervorgehoben: wirtschaftlich-kaufmännische Überlegungen und Aufrechnungen, sowie die Art und Sicherheit des Betriebes eines Wasserkraftwerkes.

Es kann kein Bau ausgeführt werden, ohne die Kostenfrage in Betracht zu ziehen.

Der Ingenieur muß bis zu einem gewissen Grade Kaufmann sein, um bei Bauausführungen nicht seinen Lieblingsplänen und einem persönlichen, an sich vielleicht interessanten, aber wirtschaftlich nicht richtigen Gedankenfluge nachzuhängen. Er muß Haushalten mit dem zur Verfügung stehenden Gelde, wenn er nicht als unpraktischer Kopf gelten will. Es ist überdies gut, wenn der Ingenieur auch die Finanzierung von Unternehmungen versteht, um in das geschäftliche Leben erfolgreich einzugreifen[1]).

Man meint im allgemeinen, daß den Ingenieur nur Aufgaben beschäftigen sollen, die die technische Seite seines Berufs betreffen. Jedoch wird man es als Tatsache bezeichnen dürfen, daß dort, wo der Ingenieur in Berührung kommt mit dem kaufmännisch-gewerblichen Leben, die finanziellen Erwägungen vielfach den Ausschlag geben.

Im Auslande erkennt man diese Notwendigkeit mehr und mehr und amerikanische Fachblätter haben neben Erörterung der Technik auch

1) Über die Notwendigkeit volkswirtschaftlicher und rechtswissenschaftlicher Bildung des Technikers. Berlin A. Seydel 1900 S. 14.

das Wirtschaftsleben in den Kreis ihrer Bearbeitung gezogen. Sie können uns darin vorbildlich sein. —

Vom Gesichtspunkte der Kraftausnutzung allein ist jene Maschine die vorteilhafteste, die den höchsten Wirkungsgrad liefert, d. h. von der natürlichen Energie den größten Anteil nutzbar macht. Dies ist vom kaufmännischen Standpunkt nicht immer der Fall. Hier gibt den Ausschlag der wirtschaftliche Wert des erzeugten Produkts. Daraus folgt, daß die mechanische Leistungsfähigkeit nie für sich allein beurteilt werden darf, sondern nur im Zusammenhange mit den anderen Faktoren des wirtschaftlichen Lebens.

Es sind dazu die Kosten des Baues und des Betriebes in Rücksicht zu ziehen. Nicht nur, daß die Maschine gut arbeitet, sie muß auch in der Unterhaltung billig sein, denn ihre Betriebskosten beeinflussen sehr den Wert des Produkts. Der Hersteller muß ferner ein solches Verhältnis der maßgebenden Faktoren zueinander suchen, daß sein Arbeitserzeugnis unter günstigen Bedingungen auf den Markt erscheint und gegen andere Werte umgetauscht werden kann. Der Ingenieur als Fabrikant und Kaufmann darf nicht blindlings Ware d. h. Kraft herstellen, ohne sich um den Absatz zu kümmern. Daher wird er oft auf die Verwirklichung eines Gedankens verzichten müssen, wenn zwar das Werk technisch richtig gedacht und entworfen ist, aber zu teuer in der Anlage wird oder keine Absatzmöglichkeit besteht.

Je nachdem die Wasserkraft dem reinen Kraftbetrieb in einer Fabrik oder in einer Überlandzentrale der Lichterzeugung, dem Eisenbahnbetrieb, der Wasserhebung oder elektrochemischen Zwecken dient, je nach dem Kraftzufluß und den schwankenden Bedürfnissen des Verbrauchs werden sich weiterhin gewisse Eigenarten der Einrichtungen in den Maschinen, im Kraftgebäude und in der Kraftverteilung ergeben. Für den Kraftausbau und für den Betriebsführer bedeutsam sind die Schwankungen im Licht- und Eisenbahnbetrieb. In beiden Betrieben wechselt die Belastung von Null bis zur Vollbelastung in kurzen Zwischenräumen. Die Aufgabe des Ingenieurs ist es hier, die ungleiche Kraftspeisung des natürlichen Wasserzuflusses mit der wechselnden Inanspruchnahme des Werkes seitens des Verbrauchs durch bauliche und Betriebsanordnungen in Einklang zu bringen derart, daß eine wirtschaftlich vorteilhafte Ausbeute der natürlichen Energie gewährleistet ist.

Die Sicherheit des Betriebes kann ferner durch bauliche und

Betriebsmaßnahmen wesentlich beeinflußt werden. Diese Rücksichtnahme kann durch Reserve-Turbinen und sonstige Aushilfsteile, durch eine Dampfanlage zur Ergänzung, durch Vereinigung eines Wasserkraftmit einem Dampfelektrizitätswerk, durch Kuppelung mehrerer Wasserkraftwerke, Anlage einer Unterstation mit Dampfkraft am Ende der Fernleitung u. a. m. geschehen. Bei allen diesen Maßnahmen liegen zwei Möglichkeiten vor. Man kann eine Anlage mit einfachen — mehr vorläufigen — Mitteln ausbauen. Dann muß man darauf rechnen, daß die unzureichende und leichte Ausführungsweise starke Unterhaltungs- und Erneuerungskosten verursachen wird. Die andre Art aber ist die, ein Werk in vorzüglichster Weise auszubauen und mit den besten Maschinen auszurüsten. Das erfordert naturgemäß einen größern Kapitalaufwand bei der ersten Herstellung, der den Zinsaufwand d. h. die laufenden mittelbaren Betriebskosten steigert, andrerseits jedoch geringere Unterhaltungskosten verursacht. Maßgebend für die Entscheidung wird hierbei aber nicht nur der wirtschaftliche Gesichtspunkt sein müssen, sondern auch die Sicherheit des Betriebes, die im zweiten Falle eine größere sein wird. Diese zweite Art wird daher im allgemeinen den Vorzug verdienen.

Wo leichtere Betriebsbedingungen vorliegen, d. h. wo eine Betriebsstörung weniger ins Gewicht fällt, wird man einfacher konstruieren können als dort, wo der Betrieb unbedingt allzeit dauernd gesichert sein muß — d. h. wo viele kleine Betriebe vom Werke abhängen, — oder wo Eisenbahnbetrieb oder die Lichtversorgung einer großen Stadt in Betracht kommt.

Um einige Beispiele anzuführen: an Stelle der oft üblichen Zuleitungen in offenen Kanälen ist man neuerdings vielfach zu dem System der Zuführung des Betriebswassers in Tunneln übergegangen. Statt hölzerner Rohre werden eiserne Rohre eingebaut und an Stelle hölzerner Viadukte massive Bauwerke oder solche auf Eisenpfeilern. Das Schmiederohr wird dabei oft dem Gußeisen vorgezogen, überhaupt ist der Eisenbau allgemein als eine höhere Stufe d. h. als eine vollkommnere Bauweise eingeführt z. B. an den Kanaleinläufen, bei den Schützen u. a. m.

Der Ausbau der Wasserkräfte in größerem Umfange ist neu und wenig mehr als ein Jahrzehnt ist her, daß dieser Gedanke einen lebhaften Aufschwung genommen und viele Zentralen hat entstehen lassen. Es darf daher nicht wundernehmen, daß auf diesem Gebiete vieles noch

im Werden ist, die wirtschaftlichen Auffassungen wie die konstruktive Durchbildung der Anordnungen stark in der Entwicklung begriffen sind und über manche grundlegenden Begriffe noch keine Klarheit herrscht. So weist auch Perrine[1]) nicht mit Unrecht darauf hin, daß die Kapitalbewertung dieser Unternehmungen heute meist nicht in der rechten Weise geschieht. Die gewöhnliche Art, eine Wasserkraftanlage ihrem Werte nach abzuschätzen, besteht darin, daß man die Kosten in einem Zahlenwert, der auf die Krafteinheit bezogen wird, ausdrückt z. B. in 400, 800 oder 1000 Mk. Baukosten für das installierte Kilowatt. Diese Bewertungsart ist aber lediglich am Platze, wo die Leistungsfähigkeit des Werkes eine gleichmäßige ist und der Belastungsfaktor seitens der Abnehmer = 1 ist, d. h. der Verbrauch vollständig der Kraftlieferung entspricht. Dies ist aber selten der Fall. Die zutreffende Bewertung einer Kraftanlage sollte auf der Grundlage der Kilowattstunden erfolgen, die nutzbar abgegeben werden können, d. h. verkäuflich sind. Das Maß des Verkäuflichen wird aber zum Teil von den Maßnahmen des Betriebes u. a. von dem Tarif und von der Geschicklichkeit der Betriebsführung abhängen. Daraus ergibt sich, daß der Wert des Werkes nicht nur von den erstmaligen Herstellungskosten, sondern auch von der Betriebsgestaltung bedingt wird. Dieses Moment ist bisher in den wirtschaftlichen Aufrechnungen sicherlich noch zu wenig beachtet worden, wenn zwar dies praktisch ohne weiteres einleuchtet.

Der geschickte Geschäftsmann ist es, der den Gang des Betriebes und die Seele des Unternehmens ausmacht. Unter seiner Hand kommt erst Leben in die tot angelegten Kapitalien. Allerdings ist dieser Faktor in Zahlen kaum zu erfassen und bei Rentabilitätsberechnungen für zu erbauende Kraftwerke zu berücksichtigen. Es ist dies zu sehr eine Personenfrage, die aber sicherlich nicht ohne Bedeutung für den Kapitalwert des Unternehmens ist.

Jenes erstere Verfahren ist zwar wesentlich einfacher, wenn man die Leistung eines Werkes nach K. W. einfach nur mit einem Einheitswert zu multiplizieren nötig hat, um den Gesamtwert der Anlage zu erhalten, aber man wird nach obigen Betrachtungen zugeben müssen, daß dies keine vollgültige Bewertung abgibt. Richtiger ist es, von den vorhandenen oder bei Vorermittlungen von den abzuschätzenden Belastungs-

1) Eng. News 10. 1. 07.

kurven, d. h. der zu erwartenden Kraftabgabe auszugehen, sie in Beziehung zu setzen zu den Herstellungs- und Betriebskosten des Werkes und so die Einheitskosten für die PS.-Stunde oder K.W.-Stunde zu berechnen.

Wenn man die Untersuchung auf gleicher Grundlage für eine Wärmekraftanlage ausführt, so wird man zu unmittelbaren Vergleichzahlen kommen, die den Wert einer zu erschließenden Wasserkraft werden erkennen lassen.

In den folgenden Ausführungen sind beide Wege eingeschlagen. Es sind zunächst Angaben über die reinen Herstellungskosten gemacht, die dem entwerfenden und veranschlagenden Ingenieur einigen Anhalt bieten werden, und es ist weiterhin die Ableitung der Gestehungskosten der Kraft unter Berücksichtigung der Betriebs- und Unterhaltungskosten, sowie der wahrscheinlichen Absatzmöglichkeit erfolgt.

B. Die Kosten der Wasserkräfte.

Wenn sich in den vorhergehenden Abschnitten für die technischen Anordnungen der Wasserkraftanlagen einige leitende Gesichtspunkte haben entwickeln lassen, so ist es schwierig, für die Ermittlung der Baukosten allgemein gültige Anhaltspunkte zu geben. Es sind hier nicht, wie bei einer Dampfkraftanlage in der Regel normale und im ganzen gleichbleibende Verhältnisse bestimmend, sondern die auf die Krafteinheit bezogenen Kosten werden neben den schon oben geschilderten Einflüssen außerordentlich durch die Gunst oder Ungunst der örtlichen Umstände — die notwendigen Aufwendungen für die Wasserfassung, für Gründungen und die Fernübertragung — beeinflußt. Es ist ausschlaggebend, ob für den Ausgleich des Wassers natürliche Seen benutzt werden können oder ob Sammelbecken mit kostspieligen Sperrmauern hergerichtet werden müssen. Und mit den gleichen Geldmitteln kann es je nach der Geländegestaltung möglich sein, ein niederes oder hohes Nutzgefälle zu erschließen. Mit jedem Meter Gewinn wächst aber die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens unter sonst gleichen Umständen, nicht nur durch die Kraftvermehrung, sondern auch infolge der kleineren Turbinen in den Hochdruckwerken, die ihrerseits wieder kleinere Bauten und meist einfachere Gründungen gestatten. Hochdruckwerke sind daher in der Einheit im allgemeinen billiger als Niederdruck-

werke, und im gleichen Sinne wirkt die Nutzbarmachung einer zentralen Kraft gegenüber der Verzettelung in kleine Einzelanlagen. Alle die Vorteile einer gegebenen örtlichen Lage auf das beste auszunutzen, ist die Aufgabe und das Geschick des Ingenieurs.

Wenn somit die Abwägung der Kosten sehr mit den Einzelheiten der technischen Konstruktionen zusammenhängt und im Einzelfalle nur an der Hand eines Entwurfs oder doch wenigstens einer Skizze nach Erfahrungssätzen wird erfolgen müssen, so soll doch allgemein hervorgehoben werden[1]), daß den Hauptanteil an den Gesamtkosten von Wasserkraftanlagen die Aufwendung für die Wasserfassung, Aufspeicherung, Zuleitung und die baulichen Anlagen des Kraftgebäudes verursacht, der gegenüber die Ausgaben für die Maschineneinrichtung wesentlich zurücktreten[2]). Einen bedeutenden Anteil daran nimmt aber auch die Fernleitung bei größeren Übertragungsstrecken. Beim Wasserkraft-Elektrizitätswerk Rheinfelden beträgt der Anteil der Kosten für das Leitungsnetz etwa 33 v. H. der Gesamtanlagekosten, in Kubel (86 km Fernleitung) 24 bis 30 v. H., beim Kanderwerk (Schweiz; 200 km Fernleitung) 35 v. H. Beim Kraftwerk von Chèvres haben die hydraulischen Anlagen 3016000, der elektrische Teil 1160000 M. gekostet. Die elektrische Ausrüstung nimmt hier also 28 v. H. der Gesamtkosten in Anspruch. Bei dem Werke von Hagnek sind dies 24 v. H. Weiterhin dürfen die Kosten des Grunderwerbs der z. B. bei Talsperrenanlagen ansehnlichen Grundflächen, zumal wenn der Ankauf von Gehöften oder Ortschaften nötig wird, nicht außer acht bleiben, ebensowenig die Entschädigungen, die an die Anlieger des in Beschlag genommenen Wasserlaufs für die Wasserentziehung gezahlt werden müssen. Die Grunderwerbskosten haben sich bei neueren Talsperrenanlagen auf 10 bis 20 v. H. der Gesamtkosten belaufen. Die Frage der Entschädigung tritt vornehmlich auf, wenn das Wasser aus dem natürlichen Gerinne in ein anderes Abflußgebiet abgeleitet wird. Zeitweilige Schädigungen unterhalb liegender Triebwerke können überdies sich bemerkbar machen,

---

1) Vgl. Abschn. II S. 8.

2) Anders gestaltet sich das Kostenverhältnis bei den Dampf-Elektrizitätswerken. Hier rechnet man im Durchschnitt

auf die Maschinen	1/3	der gesamten Herstellungskosten.
» das Leitungsnetz	1/3	
» die Gebäude	1/4	
» sonstige Ausrüstung und Nebeneinrichtungen. .	1/12	

Tabelle 30. Bau- und Betriebskosten von Wasserkräften[1]).

	Kleine Leistungen				Mittlere Leistungen				Große Leistungen							
	Mäßige Relativgefälle, kleine absolute Gefälle				Günstige Relativgefälle, mittlere absolute Gefälle, Ausnutzung verschieden großer Wassermengen				Mäßige Relativgefälle, Konzentrierung des Gefälles: a) mittels Kanales		b) durch Aufstauen im Flusse selbst		Sehr günstige Relativgefälle, große absolute Gefälle			
	Saale bei Dorndorf		Amper bei Dachau		Mangfall bei Darching		Mangfall bei Rosenheim		Kl. Rhein bei Straßburg		Isar bei Landshut		Sill bei Matrei		Wattensbach bei Wattens	
Gefälle	1,5 m		2 m		3 m		3,4 m		4,8 m		3,5 m		80 m		300 m	
Sekundl. Wassermenge	16 cbm		12 cbm		8 cbm		16 cbm		85 cbm		120 cbm		7,5 cbm		3 cbm	
Leistung	240 PS.		240 PS.		240 PS.		540 PS.		4000 PS.		4000 PS.		6000 PS.		9000 PS.	
	im ganzen Mk.	für 1 PS. Mk.	im ganzen Mk.	für 1 PS. Mk.	im ganzen Mk.	für 1 PS. Mk.	im ganzen Mk.	für 1 PS Mk	im ganzen Mk.	für 1 PS. Mk.	im ganzen Mk.	für 1 PS. Mk.	im ganzen Mk.	für 1 PS. Mk.	im ganzen Mk.	für 1 PS. Mk.
1. Vorarbeiten, Wasserrechte, Grunderwerb, ausschl. der vorhandenen Bauten	24 000	100	18 000	75	16 000	67	30 000	55	80 000	20	60 000	15	30 000	5	80 000	9
2. Wehr- u. Kanalanlage einschl. Rechen, Schützen, Behälter, Druckleitungen, Wege u. Zufahrtstraßen u. einschl. d. vorhandenen Bauten	110 000	460	90 000	375	80 000	333	150 000	280	1 200 000	300	500 000	125	850 000	141	1 200 000	134
3. Turbinenanlage, Turbinenhaus mit Laufkran, Turbinen mit Regulatoren, Werkstatteinrichtung usw.	106 000	440	84 000	350	60 000	250	100 000	185	420 000	105	740 000	185	320 000	54	340 000	37
Gesamtbausumme	240 000	1000	192 000	800	156 000	650	280 000	520	1 700 000	425	1 300 000	325	1 200 000	200	1 620 000	180
Jahresbetriebskosten bei 10 bis 12stünd. Betrieb am Tage	27 160	113,2	22 620	94,3	19 140	79,8	33 400	61,9	170 000	42,5	137 400	34,4	132 000	22,0	176 200	19,6
Jahresausgaben in v. H. der Anlagekosten	11,32		11,80		12,27		11,93		10,0		10,57		11,0		10,38	

1) Nach v. Miller, Z. d. V. deutsch. Ing. 1903 S. 1006.

wenn große Kraftwerke in Sammelteichen Aufstauungen vornehmen und diesen Vorrat später in kurzer Zeit aufarbeiten. Kleinere Triebwerke können diesen plötzlichen Ansturm dann nicht bewältigen und müssen das Wasser ungenutzt abfließen lassen.

Tabelle 31. Vergleichende Zusammenstellung über Baukosten von Wasser- und Dampfkraftanlagen an kanalisierten Flüssen.

Nach Prüsmannschen Angaben.

Ort	Leistung	Wasserkraftanlage (ohne elektrische Anlagen)	Wasserkraftanlage mit Dampfaushilfe		Dampfkraftanlage		Bemerkungen
			ohne elektr. Anlagen	mit elektr. Übertragung auf 20 km	ohne elektr. Anlagen	mit elektr. Übertragung auf 20 km	
	PS.	Baukosten für 1 eff. Pferdestärke in Mark					
Rintelen an der Weser . . .	1000	441	779	1965	461	1380	Wehrgefälle: 1,4 bis 2,4 m.
Frankfurt am Main . . .	2000	620	926	2162	461	1380	Wehrgefälle: 1,5 bis 2,5 m.
Krappitz an der Oder . . .	1000	590	897	2122	461	1380	Wehrgefälle: 1,5 bis 2,2 m.
Valwig an der Mosel . . .	2000	452	789	1979	461	1380	Wehrgefälle: 1,3 bis 2,3 m.

Bemerk. In den Kosten der Wasserkraftanlagen sind die für Schiffahrtszwecke (Stauwehre) ohnehin erforderlichen Aufwendungen nicht berücksichtigt. Geschieht dies, so erhöht sich der Preis für 1 PS. um etwa 100 bis 150 Mk. Trotz der höheren Anlagekosten für die Wasserkräfte ergeben sich nach der Prüsmannschen Berechnung selbst bei voller Dampfaushilfe die jährlichen Betriebskosten der Wasserkräfte sowohl bei Verwertung am Gewinnungsort wie bei Fernübertragung auf 20 km billiger als die der Dampfkraft (s. Abschn. IV C).

Bei Ausführung der Wasserkraftanlage an der Albula (20000 PS.) hat die Stadt Zürich folgende Leistungen übernehmen müssen[1]):

	Mk.
1. An 7 Gemeinden an der Albula zu zahlen	103000
2. Für das Wassernutzrecht an der Albula	88000
3. Für Wegerechte und Abfindung einer Mineralquelle .	24000

1) Denkschrift über die Erstellung einer elektr. Kraftübertragungsanlage an der Albula.

Tabelle 32. Ausführungskosten von Wasserkraftanlagen.

Ort	Gefälle m	Leistung PS.	Gesamtbaukosten Mk	Kosten für 1 PS. Mk.	Bemerkungen
Luzern	0,6 bis 1,2	288	440 000	1530	Einschl. eines Gewerbegebäudes von 3 Stockwerken und 770 qm Grundfläche. Vgl. Abschn. V, 2, A.
Schaffhausen . .	4,2 bis 4,8 bzw. 3,5 bis 4,5	2 700	1 460 000	540	Zwei getrennte Wasserkraftwerke im Rhein, einschl. Kraft- u. Lichtverteilungsnetz.
Kubel bei St. Gallen (Schweiz) .	90	5 000	4 296 000 (I. Ausbau) 5 336 000 (mit Sitterzuleitung)	860 1060	Einschl. Sammelbecken von 1,5 Mill. cbm Stauinhalt, elektrischen Anlagen, Verteilungsnetz und Dampfaushilfe von 1000 PS.
Gersthofen am Lech	10 bis 10,5	6 000	3 250 000	540	Ohne Grunderwerb und den elektrischen Teil, aber mit Turbinen und Kammerschleusen.
Augsburg . . .	—	9 100	7 500 000	824	
Heimbach (Urfttalsperre) . .	70 bis 110	16 500*)	10 500 000	636	Einschl. Sammelbecken von 45,5 Mill. cbm Stauinhalt und Verteilungsnetz auf 20 bis 30 km. *) Einschl. Reserve.
Rheinfelden . .	2,8 bis 4,9	16 800	4 900 000	290	Mit elektrischen Anlagen.
Chèvres (Rhone)	4,3 bis 8,1	12 000 bis 18 000 Mittel 15 000	4 176 000	280	Der Preis bezieht sich auf die mittlere Leistung der Zentrale (15 000 PS.). Bezogen auf den hydraulischen Teil kostet 1 PS./200 M. — der elektr. Teil (Überlandzentrale für Genf und 20 Ortschaften) 80 M./1 PS.
Kraftwerk d. Stadt Lyon (Jonage) .	10 bis 12	22 750	26 000 000	1150	Mit 18,6 km langem Betriebskanal, einschl. der maschinellen und elektrischen Anlagen.
Rheinwasserkraftwerk bei Mühlhausen (Projekt 1902)	7,3 bis 9,2	23 000	12 300 000	530	Einschl. Grunderwerb u. Turbinen, aber ohne die elektr. Anlagen.

Ort	Gefälle m	Leistung PS.	Gesamtbaukosten Mk.	Kosten für 1 PS. Mk.	Bemerkungen
Chèdde (s. S. 161)	139	10 000	—	120	An der Turbinenwelle.
				170	Einschl. elektr. Einrichtung.
Champ (s. S. 207)	37,4	5 300	3 600 000	436	An der Turbinenwelle.
				950	Einschl. elektr. Anlagen.
Untertürkheim .	2,8	720	950 000	1320	Einschl. einer Dampfaushilfe von 600 PS. Leistung, der elektr. Maschinen u. elektr. Verteilung auf angrenzendem Fabrikgelände.
Luzern-Engelberg	300	16 000	4 160 000	260*)	*) Die Kosten des maschinellen und elektrischen Teiles sind darin nur für 9000 PS. enthalten; 28 km Fernleitung u. Verteilung in Ortschaften.
Kykkelsrud . . .	18,7	28 000	5 600 000	200	
Hagnek . . .	5,8—9	7 500	3 440 000	460	Hydraul. Teil 350 M./1 PS. Elektr. Teil 110 M./1 PS.
Thusy-Hauterive (Schweiz). . .	67	6 000	—	500	
Ragaz	—	200	—	800	
Kanderwerk (Schweiz) . .	65	6 000	4 100 000	680	Einschl. der elektrischen Fernübertragung.
	65	6 000	3 300 000	440	Ohne elektr. Einrichtung.
San Giovanni Lupattoto an der Etsch b. Verona	5,7	1 350*)	927 000	688	*) Bei vollem Ausbau 2900 PS.
				552	Bei dem Ausbau auf 2000 PS. Die Kosten der Fernleitung betragen nur 2,5 v. H. der Gesamtkosten.
Schweinfurt . .	2,5	800 PS. Wasserkraft	750 000*)	470	*) Einschl. der Kosten für eine Dampfaushilfe von 800 PS.

Mk.

4. Jährliche Entschädigungen an 7 Gemeinden 95000
5. Unentgeltliche Abgabe von Kraft an diese 7 Gemeinden . . . . . 340 PS.
6. Außerdem muß an einige Gemeinden der Kraftabsatz zu herabgesetzten Preise erfolgen.

Über die gezahlten Entschädigungen an Unterlieger beim Bau der Talsperre der Stadt Nordhausen s. S. 403.

Wenn bei dem Aufstau in Sammelbecken landwirtschaftliche Wiesenbewässerung im unteren Tale zu berücksichtigen ist, so kann diese durch Abgabe von Wasser zu Zeiten, in denen die Anfeuchtung oder düngende Überflutung erfolgen muß, schadlos gehalten werden. Andernfalls wird die geringere Ertragsfähigkeit der weniger gut be-

Tabelle 33. Anlagekosten
von deutschen mit Dampf betriebenen städtischen Elektrizitätswerken, zusammengestellt nach Ermittlungen von Hoppe auf Grund der Statistik der Elektrizitätswerke 1905 [1]).

Leistung des Werkes in KW.	Anlagekosten für 1 KW.		Anlagekosten für 1 PS.		Bemerkungen
	mit Leitungs- und Verteilungs-netz Mk.	ohne Leitungs- und Verteilungs-netz Mk.	mit Leitungs- und Verteilungs-netz Mk.	ohne Leitungs- und Verteilungs-netz Mk.	
über 5000	1380	780	1016	574	In den Anlagekosten sind enthalten die Kosten der Grundstücke und Gebäude und Schornsteine und der Maschinen und alle innere Einrichtung des Kraftgebäudes, bzw. das Übertragungs- und Leitungsnetz, Akkumulatoren, Transformatoren, Zähler und Hausanschlüsse. 1 PS. = 0,736 KW.
2000 bis 5000	1460	749	1089	551	
1000 bis 2000	1360	691	1000	509	
500 bis 1000	1460	869	1089	640	
250 bis 500	1570	857	1155	631	
100 bis 250	1770	987	1303	726	
unter 100	2440	1300	1796	957	

wässerten Wiesen in Geldeswert ausgeglichen werden müssen. Die Schädigung einer Wasserkraft ergibt sich aus der Verminderung des Wasserabflusses und dem Rohgefälle des betreffenden Werkes. Dieser Schaden kann sich steigern, wenn infolge der Triebwasserverkleinerung die Gesamtanlage die Nutzbarkeit überhaupt verliert oder wenn zur Aufrechterhaltung der Betriebsfähigkeit eine Dampfaushilfe notwendig wird. Die Entschädigung wird in barem Gelde erfolgen können oder auch durch Abgabe elektrischer Kraft aus dem neugeschaffenen Werke. Der Wert einer Wasserkraftanlage wird dabei oft in der allerdings nicht genau

1) Finanzielle Ergebnisse städtischer Elektrizitätswerke. E. T. Z. 1905 S. 673.

zutreffenden Weise bestimmt, daß man die Herstellungskosten für eine Dampfanlage von gleicher Leistungsfähigkeit ermittelt und die Aufwendungen berechnet, die nötig sein würden, um dieses Dampfwerk dauernd in Betrieb zu halten. Die Summe aus den Baukosten und den kapitalisierten unmittelbaren Betriebskosten der Dampfanlage ergibt dann den gesuchten Kapitalswert der fertig ausgebauten und betriebsfähigen Wasserkraftanlage. Weiteres s. Abschn. IV C.

Tabelle 34. Kosten der Wehre einschl. Grund- und Uferbauten.

Ort bzw. Konstruktion	Stauhöhe m	Freie Durchfluß-breite m	Kosten für 1 m Durch-flußweite M.	Bemerkungen.
Solingen	3,00	66	1515	Festes Wehr in Beton, teils auf Fels, teils in Kies zwischen Spundwänden gegründet; einschl. Einlaßschleuse.
Untertürkheim . . .	1,5	86,4	600	Schützenwehr, eiserne Griesständer mit hölzernen Tafeln.
Kubel	3,50	29,6	2080	Festes Wehr in Beton.
Gersthofen	—	80	7250	Einschl. Einlaufbauwerk am Betriebskanal.
Innsbruck	4,0	20	4180	Einschl. Hochwasserschleusen und Sandfang.
Chèvres	bis 8,5	75	8320	Eiserne Schützenöffnung von 10 m zwischen 3 m breiten massiven Pfeilern.
Nadelwehr	2—3	50—120	1700	Durchschnitt aus preußischen Staatsbauten. Vergl. die statischen Nachweisungen über ausgeführte Wasserbauten d. preußischen Staates.
Schützenwehr . . .	2—3	50—60	3700	Wie vor.
Walzen- u. Segmentwehr im Berliner Landwehrkanal . .	1,7	11	2000	S. Zentralbl. d. Bauverw. 1907.

Über bemerkenswerte Vereinbarungen mit den Unterliegem einer Talsperre über ihre Schadloshaltung siehe Borchardt, Die Remscheider Stauweiheranlage.

Ungeachtet aller dieser Abhängigkeit der Kosten der Wasserkräfte von den örtlich gegebenen Verhältnissen mag es von Interesse sein, das Ergebnis einiger Ermittlungen kennen zu lernen, nicht so sehr um die hier gegebenen Zahlen als Unterlage bei Kostenberechnungen zu benutzen, als vielmehr um allgemeine Anhaltspunkte für die Beurteilung

zu gewinnen und um Vergleiche anstellen zu können. Dazu mögen die vor- und nachstehenden Tabellen dienen. Tabelle 30 gibt die Kosten von Wasserkräften, bezogen auf 1 Pferdestärke als Einheit, nach Berechnungen v. Millers auf Grund von Ausführungen und Entwürfen.

Die Zahlen dieser Tabelle erweisen, wie sich mit zunehmender Wassermenge und mit der Konzentrierung des Gefälles die Einheitskosten für 1 PS. herabmindern. Die geringsten Einheitskosten ergibt die Ausnutzung der Gebirgsflüsse unter Anwendung sehr hoher Gefälle. v. Miller zieht daraus die Folgerung, man müsse die Gefälle nach Möglichkeit zusammenziehen, um große Gefällstufen ausnutzen zu können. Wo große Gefälle nicht zur Verfügung stehen, sollten nicht wie bisher nur die

Tabelle 35. Kosten der Betriebskanäle.

Ort	Länge des Kanals m	Abführungsvermögen bei M.W. cbm	Kosten für 1 lfd. m	Bemerkungen
Solingen	1 170	12	96	s. Abb. 54 u. 55.
Gersthofen	7 300	50—60	192	s. Abb. 58.
Jonage	18 000	100—150	930	s. Abb. 28.
Dortmund-Emskanal (Schiffahrtskanal) . .	120 400*)	58,5 qm Wasserquerschnitt	160**)	*) Herne-Bevergern. **) Lediglich Kanalstrecke einschl. Böschungsbefestigungs- und Dichtungsarbeiten. Diese Angabe soll zum vergleichsweisen Anhalt dienen.
San Giovanni Lupattoto a. d. Etsch bei Verona .	1 500	23*)	283	*) Bei N.W. s. Abb. 60.

kleinen Wassermengen ausgebaut werden, sondern es sollten namentlich auch die großen Wassermengen der Flüsse — soweit dies mit den Interessen der Schiffahrt und Landwirtschaft vereinbar ist — herangezogen werden.

Die Tabelle 31 ist eine Zusammenstellung über Baukosten von Wasser- und Dampfzentralen an kanalisierten Flüssen und ist ein Auszug aus den von Prüsmann in der Schrift »Ausnutzung der Wasserkräfte an Wehren kanalisierter Flüsse«[1]) gemachten Angaben. Die Tabelle ist deswegen bemerkenswert, weil sie einen unmittelbaren Vergleich zwischen Wasser- und Dampfkraft gestattet. Denn die Kostenberechnung ist für diese drei Fälle nach denselben Grundsätzen erfolgt.

1) IX. Intern. Schiffahrtskongreß 1902.

Tabelle 32 ist vom Verfasser hergeleitet aus den tatsächlichen Baukosten einiger Wasserkraftanlagen und wird aus diesem Grunde Beachtung verdienen und den unmittelbaren Vergleich mit den Zahlen in Tabelle 33 ermöglichen, die für dampfbetriebene Elektrizitätswerke Geltung haben. Bei allen diesen Angaben wird man sich vergegen-

Tabelle 36. Kosten von Stollen.

Ort	Abmessung Querschnitt qm	Wasserführung cbm	Kosten für 1 lfd. m	Bemerkungen.
Solingen (160 m lang)	2,0/2,2	3 Rohre	212	Einschl. Vorbauten und teilweiser Ausmauerung, s. S. 168.
Luzern-Engelberg (2558 m lang) . .	2,17/230	2,6	234	Mit Ausmauerung, s. S. 175.
Kubel (8460 m lang) .	1,90/180	4,0	130	Auf der ganzen Länge ausgemauert, s. S. 175.
Innsbruck (7566 m lang)	1,90/2,75	7,5	212*)	Ausgemauert. Einschl. Wasserschloß, Leerlauf, Unterwasserkanal 236 M., s. S. 171.
Albula (7410 m lang)	9,4	16	215	Nach dem Ausführungsanschlag. Einschl. Wasserschloß 230 M.

Tabelle 37. Kosten der Druckrohrleitungen.

Ort	Länge der Druckleitung m	Größter statischer Druck m	Durchmesser m	Kosten für 1 m der fertigen Leitung Mk.	Bemerkungen.
Solingen	3 730	175	0,40	43	Gußeiserne Muffenrohre.
	1 200	59	0,70	80	Wie vor.
Nordhausen . . .	11 000	192	0,40	37,3	Wie vor.
Ennepetalsperre . .	1 300	47	1,40	120	Flußeisenblech.
Luzern-Engelberg .	630	300	1,00	678	2 genietete Rohre einschl. Unterbau (freiliegend).
Kubel	299	94	1,6	535	Einschl. Unterbau (freiliegend).
Albula	438	151	2,00	825	2 genietete Rohre von 2 m Durchmesser einschl. Unterbau (Entwurf).

wärtigen müssen, daß die Preise aus den Gestehungskosten zum Teil kleiner Wasserkraftzentralen hergeleitet sind und darum auch nur den Einheitskosten aus gleichgroßen Wärmekraftwerken gegenübergestellt werden dürfen.

Die Tabellen 30 und 31 geben ferner einen allgemeinen Anhalt für

Tabelle 38. Kosten für 1 qm Grundfläche des Maschinengebäudes ohne maschinelle Einrichtung.

Ort	Größe des Gebäudes qm	Leistung der Maschinen PS.	Gefälle	Art der Wasserzuführung	Kosten für 1 qm bebaute Grundfläche Mk.	Kosten bezogen auf 1 PS. Maschinenleistung	Bemerkungen
Solingen	481	1 550	5 bzw. 50	Offener Kanal bzw. Druckleitung	348 421*)	108	*) Einschl. Einführung des Ober- und Unterkanals.
Ennepetalsperre	440	720	35	Druckleitung	312	—	
Luzern-Engelberg	—	12000 bis 16 000	300	»	212	33	
Kubel	800	5 000	94	»	332	53	
Flußwasserwerk Hannover*)	680	170	2,15	Fluß	750	—	*) Einschl. Wasserturm und reicher Ausstattung.
Sillwerke (Innsbruck)	700	15 000	182	Druckleitung	195	9,1	
Chèvres	1 710	12 000 bis 18 000	4,5—8,5	Offener Kanal	600	68*)	Bzg. auf eine mittlere Leistung von 15 000 PS.
Albula	—	20 000	151	Druckleitung	—	14	Nach dem Ausführungsanschlag.

die Beurteilung, wie sich die Gesamtkosten auf die einzelnen Teile des Werkes verteilen, während die Tabellen 34 bis 40 über die Kosten wesentlicher Bauteile größerer Wasserkraftunternehmungen einigen Aufschluß geben.

Die Anlagekosten schweizerischer Wasserkräfte schwanken nach den Angaben von Prof. Zschokke zwischen 200 und 700 Mk., wobei nicht die absolut geringste Zahl der gewonnenen Pferdekräfte in Ansatz gebracht wird, sondern die Kraft, welche bis auf etwa 10 Tage im Jahre

Tabelle 39. Kosten der Turbinen einschl. innerer hydraulischer Maschineneinrichtung (Rohrleitungen, Schieber usw.).

Kosten für 1 PS. Maschinenleistung.

Name des Kraftwerkes	Leistung des Werkes	Leistung der Turbinen PS.	Gefälle	Kosten 1 PS.	Bemerkungen
Solingen	600	300	5,0	99	
	600	300	50,0	77	
Ennepe	1 000	250	35	81	
Untertürkheim . .	720	240	2,8	175	Einschl. der Dynamos.
Kubel	4 000	4 × 500 2 × 1000	94	30	Dampfreserve 144 M/PS.
Chèvres	12–18000	18 × 1000	4,5—8,5	140	Einschl. Dynamos bzog. auf die mittlere Leistung von 15 000 PS.
San Giovanni Lupatotto an der Etsch bei Verona . . .	1 350*)	700	5,7	127	*) Später 2900. Einschl. der elektr. Maschinen usw. im Kraftgebäude. 1 km Fernleitung kostete 3000 M. (Freileitung).
Albula (Zürich) . .	20 000	10 × 2000	140	16,0	Nach dem Ausführungsanschlag.

stets gewonnen werden kann. Der Mittelpreis liegt zwischen 400 und 500 Mk. an der Turbinenwelle, gilt also ohne die elektrischen Anlagen. Unter Berücksichtigung der Kosten der elektrischen Einrichtung im Zentralwerk und der Kraftverluste, die bei der Umsetzung der Wasserkraft in die elektrische Energie entstehen, stellt sich der Preis der elektrischen PS. im Kraftwerk auf etwa 600 Mk. Als Grenze für die Wirtschaftlichkeit von Wasserkraftanlagen gilt in Baden der Preis von etwa 600 Mk. für 1 PS., in der Nordschweiz 640 Mk. und in Frankreich 800 Mk. für 1 PS.

Hinsichtlich amerikanischer Kraftanlagen bemerkt Eng. Rec.[1]):

1) 1. 9. 06.

Tabelle 40. Kosten von elektrischen Anlagen bei Wasserkraft-Überlandzentralen.

Ort	Leistung der Maschinen PS.	Fernübertragung km	Verteilungsnetz	Kosten für 1 K.W. Ausrüstung im Maschinengebäude Mk.	Kosten für 1 K.W. Ausrüstung der Übertragung und des Verteilungsnetzes Mk.	Bemerkungen
Solingen	600*)	6	22 km Hochsp. 49 km Speis.-Leitung	180	1 200	*) Erster Ausbau Alles Kabelleitung.
Ennepe-Talsperre .	720	Überlandzentrale		100	900	Freileitungen.
Untertürkheim . .	720	Verteilung nach Fabriken bis auf 1 km		230*)	60	*) Einschl. der Turbinen.
Luzern-Engelberg .	12000 – 16000	28 km	Verteilung in Luzern	95*)	140	*) Einschl. Turbinen. Freileitung.
Schaffhausen . . .	2 100	Verteilung in der Stadt		80	240*)	*) Ohne Straßenbahn. Freileitung.
Kubel	5 000	Überlandzentrale für 22 Ortschaften		115	340	
				355		
Jonage	16000 – 20000	Überlandzentrale mit 330 km Gesamtlänge des Verteilungsnetzes				
Chèvres	12000—18000	Übertragung auf etwa 10 km nach Genf und 20 Ortschaften		140*)	202	*) Einschl. Turbinen. Freileitung.
Albula*)	20 000	136	Stadt Zürich	50	235**)	*) Nach dem Ausführungsanschlag. **) Freileitung.

Wenn die Baukosten für die Wasserfassung und Kraftgebäude bei kleinen Wasserkräften bis 100 K.W. Leistung in der Nähe von 420 Mk. für eine Pferdekraft gehalten werden können, so sind die Aussichten für eine kurze Übertragung günstig. Dann kostet die PS.-Leistung etwa 40 bis 50 Mk. (bezogen auf die Kosten der Wasserfassung). Die Kosten für Turbinen und Generatoren betragen etwa 100 bis 120 Mk. für 1 K.W.; davon 10 v. H. sind 10 bis 12 Mk. Die Kosten der Wartung fallen bei kleinen Anlagen am meisten ins Gewicht. Man braucht wenigstens 3 Mann. Man muß also 8400 Mk. Jahreskosten für eine kleine Anlage rechnen. Also entfallen auf die Wartung zum mindesten 84 Mk. im Jahr für 1 K.W. Die Gesamtkosten sind demnach $40 + 10 + 84 = 134$ bei ununterbrochener Arbeit oder $40 + 10 + \frac{84}{2} = 90$ bis 100 Mk. bei 12 stündigem Betrieb. Schon bei 200 K.W. gehen die eigentlichen Betriebskosten auf ein annehmbares Maß zurück, und im rohen Griff wird man nicht fehl gehen, wenn man der Ansicht ist, daß für elektrische Übertragungszwecke auf kurze Entfernung eine Wasserkraft von 250 bis 300 PS. ständiger Leistungsfähigkeit wert ist, in Betracht gezogen zu werden. Eine Wasserkraft unter dieser Stärke hat nur örtliche Bedeutung und die Nutzbarkeit von Wasserkräften steigt schnell, wenn jene Grenze (250 bis 300 PS.) überschritten ist.

Die vorstehenden Angaben und Tabellen werden einen Anhalt bieten, um bei Voruntersuchungen eine vorläufige Ermittlung oder Schätzung der Kosten eines Wasserkraftunternehmens anzustellen. Von der Erfahrung des damit betrauten Ingenieurs wird es abhängen, in welchem Maße sich diese Überschläge den wirklichen Ausführungskosten anpassen. Jedenfalls wird aber dieser Weg die Möglichkeit bieten, in Vergleichen Anhaltspunkte für die Auswahl zu finden und wirtschaftliche Fragen zu beurteilen. Je nach den örtlichen Bedingungen wird man auf dieser Grundlage zur Beschlußfassung über die Ausführung schreiten können oder, unter Ausscheidung von Vorentwürfen, die sich als unvorteilhaft erwiesen haben, zunächst noch zu einer genaueren Entwurfsbearbeitung schreiten und nach dem Ergebnis der letzteren die Entscheidung treffen.

Die genaue Veranschlagung kann nur erfolgen, wenn man sich über alle Einzelheiten der konstruktiven Gestaltung, der Wasserfassung und Zuleitung, der Kraftumsetzung und -Verteilung usw. klar ist und ein nach dieser Richtung voll durchbearbeiteter Entwurf vorliegt. Auf diese Tätigkeit, die sich in den Konstruktionsbureaus abspielt, sowie

auf die formelle Aufstellung der Massenberechnung und der Ermittlung der Einzelkosten hier näher einzugehen, würde zu weit führen. Einige Anhaltspunkte für den Aufbau derartiger Anschläge werden die nachstehenden Angaben bieten, die auf Grund von Ausführungskosten zusammengestellt sind.

Wasser- und Elektrizitätswerk Solingen. Die Kosten sämtlicher Bauten des Wasser- und Elektrizitätswerkes sind nach den Ergebnissen der Ausführung und Abrechnung wie folgt:

Nr.	Gegenstand			Mk.
1	Vorarbeiten, Entwurf, Bauleitung und Verzinsung des Baukapitals . .			285 200
2	Grunderwerb einschl. Ankauf des Wuppergefälles und Wegeverlegungen			371 300
3	Vorbecken mit Rieselwiesen, Filteranlage, Rohrleitungen einschl. der 350 mm Leitung nach dem Pumpwerk und mit Abräumung des Beckens			285 200
4	Die große Talsperre einschl. Abräumung des Talbeckens			1 415 000
5	Berieselungsanlage unterhalb der großen Talsperre			111 800
6	Stollen, Pumpbrunnen und Rohrleitungen von der großen Talsperre zum Kraftwerk			183 900
7	Wehranlage in der Wupper einschl. Einlaßschleuse			100 000
8	Betriebskanal vom Wehr zum Kraftwerk (Ober- und Unterwasser) . .			111 500
9	Kraftwerk:			
	a) Gebäude	167 000	Mk.	
	b) Einführung des Oberwasserkanals, Spülkanal und Übergang in den Unterwasserkanal	35 500	»	
	c) Turbinen, Pumpen, Rohrleitungen innerhalb des Gebäudes und Laufkran	182 400	»	384 900
10	Elektrizitätswerk:			
	a) Apparate, Werkzeuge, Mobilien	11 100	Mk.	
	b) Dynamomaschinen	35 800	»	
	c) Akkumulatoren für die Erregung der Dynamos .	4 400	»	
	d) Schaltanlage	20 100	»	
	e) Stromzähler	42 300	»	
	f) Kabelnetz	371 500	»	
	g) Hausanschlüsse	72 800	»	
	h) Öffentliche Beleuchtung	9 900	»	
	i) Verzinsung des Baukapitals	58 300	»	626 200
11	Steigleitung vom Kraftwerk nach dem Hochbehälter in Krahenhöhe			158 400
12	Dienstwohngebäude des Maschinenmeisters			16 800
13	Eiserne Brücke über den Betriebskanal bei Strohn			11 400
		Gesamtkosten		4 061 600

Bemerkungen. Es kostete im Durchschnitt:

1 ha Wiese . . . . . 6300 Mk.
1 » Ackerland . . . . . 2100 »
1 » Holzung am Berghange . . 450 »

Der Staudamm einschl. seiner Betriebseinrichtungen kostet 98 000 Mk. Er enthält 2300 cbm Beton. — Die Sperrmauer einschl. der Betriebseinrichtungen, jedoch ohne Abräumung des Talbeckens, kostet 1 380 000 Mk. — Der 160 m lange Stollen mit Vorbauten und Ausmauerung, jedoch ohne die Rohrleitungen, kostet 34 000 Mk.

Es berechnet sich hiernach für die große Talsperre einschl. Abräumung des Talbeckens und des Grunderwerbs der überstauten Fläche der Preis für 1 cbm Stauinhalt zu 49 Pf., für das Vorbecken kostet 1 cbm nutzbarer Stauraum 120 Pf. Es tritt hier deutlich der Vorteil zutage, welchen unter sonst gleichen Umständen die Wasseraufspeicherung im großen gegenüber der Anlage kleiner Stauweiher bietet. Für 1 cbm fertiges Bruchsteinwerk der Sperrmauer einschließlich Lieferung aller Materialien wurden 15,50 Mk. bezahlt. Einschließlich aller Nebenanlagen und Betriebseinrichtungen der Talsperre stellt sich der Preis auf $\frac{1\,380000}{65\,930} = 20{,}9$ Mk für 1 cbm Mauerwerk der Sperrmauer.

Erwähnt möge noch werden, daß die Anleihe, welche zur Deckung der Gesamtkosten seitens der Stadt Solingen aufgenommen wurde, für den Betrag der Talsperre mit $^1/_2$ v. H., für das Kraft- und Elektrizitätswerk jedoch mit 5 v. H. getilgt wird.

Talsperre, Hochdruckleitung und Kraftwerk der Stadt Nordhausen a. H. Die Kosten für die Gesamtanlage der Talsperre von 770000 cbm Stauinhalt mit rund 11 km langer Rohrleitung von 400 mm Durchmesser, das Elektrizitätswerk auf dem Geiersberge von 170 PS. Leistung und die Übertragung nach der Zentrale in Nordhausen auf 1,5 km Entfernung sind folgende:

I. Talsperre.	Mk.
1. Vorarbeiten	40000
2. Grunderwerb	75000
3. Abfindung der Unterlieger für Wasserentziehung	41000
4. Talsperre von 770000 cbm Stauinhalt einschließlich Betriebseinrichtungen	470000
5. Wegeverlegungen	64200
6. Für Abräumung des Staubeckens für Trinkwasserzwecke, Umzäumung des Beckens, Anpflanzungen, Wasserumleitung des Trinkwassers während der Bauzeit, Bauleitung usw.	109800
zus. Talsperre	800000
II. Hochdruckleitung von der Talsperre bis zum Kraftwerk einschließlich des Maschinenhauses	410000
Maschinelle Einrichtungen des Kraftwerkes einschließlich Fernübertragung nach der Zentrale in der Stadt	50000
Insgesamt	1 260000

Gesamtbaukosten der Kraftanlage San Giovanni Lupattoto an der Etsch bei Verona[1]).

Leistung: z. Zt. 1350 PS., voller Ausbau 2900 PS.
Gefälle: 5,7 m.
Wassermenge: 23 cbm/sek.

	Mk.
1. Grunderwerb, Konzession, Projekt und dgl.	111 800
2. Erdaushub, Kanalbau.	153 900
3. Kanalausmauerungen.	279 900
4. Kanaleinlauf, Kraftgebäude und Brücken über den Kanal.	94 200
5. Maschinelle Einrichtungen (Turbinen und Dynamos)	172 300
6. Fernleitung, 10000 Volt, 7000 m Freileitung.	21 200
7. Bauleitung, Gutachten und dgl.	93 700
Insgesamt	927 000

C. Der Ertrag der Wasserkraftunternehmungen. Tarife und Betriebsergebnisse.

Vorbereitende Maßnahmen für den Kraftabsatz.

Eine genaue Ertragsberechnung wird naturgemäß am sichersten auf einer guten Kenntnis der Absatzmöglichkeit der erzeugten Kraft beruhen. Aber es ist schwierig, den Kraftabsatz eines neuen Werkes richtig abzuschätzen. Die aufwärtsstrebende wirtschaftliche Entwicklung der Gegenwart läßt meist den vollen Verkauf bald erwarten. Sofern nicht andere Anhaltspunkte sicher gegeben sind, ist ein aussichtsvoller Weg zu einer Übersicht zu gelangen, eine Umfrage mittels Fragebogen in den für den Kraftabsatz in Betracht kommenden Bezirken zu veranstalten, und daneben die Einwohnerzahl festzustellen und den Stromverbrauch nach ähnlichen Fällen zu schätzen[2]). Gegebenenfalls werden solche vorläufigen Ermittlungen durch Aufforderungen in öffentlichen Blättern zu unverbindlichen Anmeldungen eine gute Unterstützung finden. Als ein Beispiel hierfür möge die nachstehend abgedruckte Bekanntmachung der Stadt Solingen angeführt werden.

1) Schweiz. Bauztg. 1907.

2) Unterlagen für ein solches Verfahren bietet u. a.: F. Hoppe, Was lehren die Statistiken der Elektrizitätswerke?

Bekanntmachung und Aufforderung zur Anmeldung des Anschlusses an das städtische Elektrizitätswerk zu Solingen.

Das im Bau begriffene Elektrizitätswerk der Stadt Solingen wird Ende d. J. fertig gestellt sein. Von diesem Zeitpunkt ab kann also Strom für Licht- und Kraftzwecke von dem städtischen Werke entnommen werden. Um jedoch schon jetzt einen Anhalt für den zu erwartenden Verbrauch des Stromes und demgemäß für die erforderliche Ausdehnung des Kabelnetzes zu gewinnen, ist eine baldige Anmeldung der Stromabnehmer dringend erwünscht. Die Bürgerschaft bitte ich deshalb, die in den nächsten Tagen zur Verteilung gelangenden Anmeldeformulare gefälligst ausfüllen zu wollen. Ausdrücklich wird dabei bemerkt, daß eine Verpflichtung zum Anschluß an das Elektrizitätswerk durch die Ausfüllung der Anmeldeformulare nicht übernommen wird.

Die Kosten werden sich wie folgt berechnen: Für Beleuchtung ist zunächst ein Durchschnittspreis von $4\,^1/_2$ bis 5 Pfg. für 1 Hektowattstunde; für Kraftzwecke 1,8 Pf. pro Hektowattstunde mit entsprechendem Rabatt zugrunde zu legen. Ein genauer Stromtarif wird später bekannt gegeben [1]). Bei einem Strompreise von $4\,^1/_2$ Pfg. für 1 Hektowattstunde würden sich für Beleuchtung die stündlichen Kosten einer zehnkerzigen Glühlampe auf ungefähr 1,4 Pfg., die Kosten einer sechzehnkerzigen Glühlampe — diese ist die gegenwärtig gewöhnlich gebräuchliche — auf 2,25 Pfg. und die von Bogenlampen auf ungefähr 20 Pfg. und mehr je nach der Größe stellen.

Eine elektrische Glühlampe von 10 Normalkerzen eignet sich zur Beleuchtung von Hausfluren, Closets, Küchen und kleineren Räumen als Ersatz für eine mittlere Petroleumlampe, während die sechzehnkerzige Glühlampe eine größere Petroleumlampe, bzw. einen Gasschnittbrenner ersetzt.

Die elektrische Glühlampe bedarf keiner Wartung und kann durch eine Handbewegung an beliebig weit entfernter Stelle entzündet und gelöscht werden. Da der glühende Körper luftdicht in Glas eingeschlossen ist, kann er nicht einmal leicht brennbare Stoffe entzünden. Infolge Fehlens von Verbrennungsgasen ist eine Verschlechterung der Luft oder eine Oxydation von in Schaufenstern ausgestellten Dekorations-

1) s. Abschn. »Tarife u. Betriebsergebnisse«.

gegenständen vollkommen ausgeschlossen. Die Erwärmung der Luft ist nur unbedeutend.

Die elektrische Bogenlampe eignet sich zum Ersatz von größeren Gasflammen, Kronleuchtern usw. in Fabriken, Höfen, Plätzen, Gärten, Festsälen und vor Schaufenstern. Bei Bogenlampen brennt praktischer Weise stets eine grade Zahl von Lampen, da zum Beispiel 1, 3 oder 5 Bogenlampen denselben Stromverbrauch wie 2, 4, 6 erfordern.

Bei Abnahme von Strom für Kraftzwecke wird darauf hingewiesen, daß der Elektromotor sehr klein und leicht, der Raumbedarf dafür also gering ist. Ein zehnpferdiger Elektromotor braucht zum Beispiel nur ungefähr ein Quadratmeter Bodenfläche. Der Elektromotor kann daher aller Orten ohne Anstand auch in höheren Stockwerken und leichteren Bauwerken zur Aufstellung gelangen. Besondere Fundamente sind nicht nötig, da der Elektromotor keine hin- und hergehenden Teile hat, kleinere Motoren können sogar auf Wandkonsolen befestigt werden. Gegenüber dem Gasmotor bietet der Elektromotor den Vorteil, daß bei nicht voller Belastung der Stromverbrauch der geleisteten Arbeit annähernd entspricht. Der Elektromotor wird in Größen von $^1/_{10}$ Pferdestärke an bis zu beliebig großen Dimensionen geliefert und eignet sich sowohl zum Ersatz für Handarbeit, für Nähmaschinen, Drehbänke, Bohr-, Hobel-, Frais- und Schleifmaschinen, Kaffeeröstereien, Fleischerwölfe usw. als auch zum direkten Antrieb von Druckpressen, Schmiedehämmern, Pumpen, Aufzügen, Mühlen, Ventilatoren, Brauerei-, Gerberei-, Holzbearbeitungs-, Dresch-, Fleischerei-, Häckselschneid- und Ziegeleimaschinen. Beim Vergleich der Betriebskosten der Elektromotore mit denen andrer Motore ist vor allem zu berücksichtigen, daß erstere gar kein Kühlwasser, sehr wenig Schmiermaterial, keine Bedienung und äußerst geringe Reparaturen erfordern.

Der elektrische Strom wird weiterhin zum selben Preise wie für Kraftzwecke auch für Koch-, Heiz-, Heil- und elektrochemische Zwecke abgegeben, wie zum Beispiel für Brennscheerenwärmer, Cigarrenanzünder, elektrische Kochtöpfe, elektrische Bäder, Röntgenstrahlenapparate, zur Verkupferung, Vernicklung, Vergoldung, Versilberung, Abscheidung und Raffinierung von Metallen, Gewinnung chemischer Produkte und zur Ladung von Akkumulatoren, welche nicht zu Beleuchtungszwecken dienen.

Dieser ermäßigte Preis findet jedoch auf die Verwendung von Akku-

mulatoren und Elektromotoren zur Aufspeicherung bzw. Erzeugung elektrischer Energie für Beleuchtungszwecke keine Anwendung.

Die Feststellung des Verbrauches von elektrischem Strom erfolgt durch Elektrizitätsmesser. Letztere werden von dem Werke den Abnehmern leihweise überlassen. Der Mietbetrag richtet sich nach der Anzahl der angeschlossenen Glühlampen oder deren gleichwertigem Stromverbrauch.

Jede gewünschte Auskunft über Einrichtungen der vorgedachten Art wird kostenfrei und sofort erteilt in dem Bureau der städt. Gas- und Wasserwerke.

Solingen, den 12. Januar 1902.

Der Oberbürgermeister.

Gegenüber der zu Anfang meist beobachteten Zurückhaltung der Interessenten wird man, wenn erst eine gewisse Vertrautheit mit dem Gegenstande vorhanden ist, mit oft schnell steigendem Bedarf rechnen müssen. Durch Herleihen der Motore an kleinere Gewerbetreibende, um ihnen die teuren Anschaffungskosten zu ersparen, wird diese Einführung stets eine gute Belebung erfahren.

Tabellarische Zusammenstellungen über die fest und vorläufig eingelaufenen Zusagen werden eine Übersicht geben und mehr oder minder die voraussichtliche Belastung und den Belastungsfaktor abschätzen lassen, der von der größten Bedeutung für den Betrieb ist. Auf dieser Grundlage kann das Fernleitungsnetz mit seinen Haupt- und Nebenleitungen entworfen, sowie die Transformatoren und Umformerstationen usw. verteilt werden.

Hinsichtlich der Form des Kraftabsatzes — eine Frage, die bei diesen Voruntersuchungen von der Erörterung nicht ausgeschlossen werden darf — besteht ein gewisser Gegensatz zwischen den städtischen Dampfelektrizitätswerken und den hydroelektrischen Überlandzentralen. Bei jenen findet meist die Abgabe im kleinen an die Verbraucher selbst statt. Bei den großen Überlandzentralen geschieht die Abgabe im allgemeinen im großen. Es dürfte dies in der größeren Dezentralisierung seinen Grund haben. Das von dem Mittelpunkt des Verbrauchs oft weitentfernte Kraftwerk würde nur schwer und mit unverhältnismäßen Betriebskosten den Einzelvertrieb übernehmen können. Mehrfach erfolgt die Abgabe an Kraftgenossenschaften, so z. B. bei dem Rheinfeldener Werk, von dem die Gesellschaft »Wald Elektra« die Kraft von 80 K.W.

im ganzen bezieht und den Antriebsmotoren der Webstühle zuführt. Mehrfach sind in der Schweiz, in Baden, u. a. auch bei dem Urfttalsperrenwerk Gemeinden als Abnehmer aufgetreten.

Die Kleinverteilungsnetze sind dann in der Regel Eigentum der Kraftbetriebsgesellschaften.

Im ganzen wird man sich bei der Unterbringung der Kraft von den praktischen Erwägungen der Rentabilität leiten lassen. Soweit man im übrigen freie Hand hat, erscheint der Hinweis von Prof. Wyßling beachtenswert, daß Wasserkraftanlagen mit Ausgleichbecken — für elektrochemische Zwecke gewissermaßen »zuschade« sind, weil sich diese gut einer ungleichen Kraft anschmiegen können. Solche Werke finden zweckmäßig dort Verwendung, wo sich die Kraftlieferung den Schwankungen des Kraftbedarfs anzupassen hat.

Ertragsberechnungen.

In den Ertragsberechnungen von Wasserkraftanlagen müssen die folgenden Faktoren zahlenmäßig in die Erscheinung treten:

I. Die Betriebsausgaben. Als solche sind in Ansatz zu bringen:
   1. Die Zinsen der Anlagekosten.
   2. Die Kosten der Tilgung.
   3. Der Betrag für Erneuerung der Bauwerke und Maschinen (Abschreibung).
   4. Die unmittelbaren Betriebskosten (Unterhaltung, Löhne, Schmierstoffe).
   5. Die entsprechenden Kosten zu 1 bis 4 für eine etwaige Dampfaushilfe.
   6. Dauernde Lasten: Entschädigung für Wasserentziehung.
   7. Die Gebühren, Steuern oder sonstige allgemeine oder öffentliche Abgaben.
   8. Wasserschäden und Unfälle als außergewöhnliche Belastungen.

II. Die verfügbare Kraft, und zwar:
   1. Die Rohkraft aus Wassermenge und Gefälle.
   2. Die mittlere und die geringste Kraftleistung.
   3. Die Verluste in den Maschinen und in der Übertragung.
   4. Die nutzbar abgegebene Kraft nach PS. oder KW. als Leistung des Werkes unter Berücksichtigung der jährlichen Betriebsstunden oder nach Jahres-PS. oder KW.-Stunden.

III. Die Selbstkosten. Diese sind:
   1. Die reinen Selbstkosten auf Grund der Ergebnisse aus den Feststellungen nach I und II, bezogen auf die Nutzeinheit, z. B. Jahrespferdekraft, Pferdekraft- oder Kilowattstunde.
   2. Die Selbstkosten bei etwaiger Zuhilfenahme eines Wärmekraftwerkes.
   3. Zum Vergleich die Kosten einer reinen Wärmekraftanlage unter gleichen äußeren Verhältnissen.

IV. Die Einnahmen als das Produkt der Leistung des Werkes und des erzielbaren Marktpreises für die Krafteinheit und zwar:
   1. Bei Abgabe am Ort der Kraftgewinnung.
   2. » » nach Fernübertragung.

V. Der Reingewinn als Unterschied der Einnahmen und Ausgaben.

Zu der vorstehenden Aufstellung mögen einige Erläuterungen dienen.

In den Ertragsberechnungen unterscheidet man im allgemeinen zwischen mittelbaren (unveränderlichen) und unmittelbaren (veränderlichen) Betriebskosten. Zu jenen zählen die Zinsen, die Tilgung des Anlagekapitals und im gegebenen Falle die Erneuerungsrücklage sowie sonstige feststehende Ausgaben (Steuern, Gebühren u. a. m.). Zu den unmittelbaren Betriebskosten rechnet man den Aufwand für die bauliche Unterhaltung der Anlage, Gehälter und Löhne, Putz- und Schmierstoffe und Kohle bei den Dampfanlagen (Gas, Benzin usw.).

Hinsichtlich der Verzinsung des Anlagekapitals einschließlich der Grunderwerbskosten muß man sich vergegenwärtigen, daß diese nicht erst anhebt in dem Augenblick, in dem das Werk betriebsfähig fertiggestellt ist, sondern daß die Verzinsung mit dem Beginne des Baues einzusetzen hat, so daß die Summe dieser Zinsen mit dem vorwärtsschreitenden Bau anwächst. Da in dieser Zeit Betriebseinnahmen, aus denen jener Betrag gedeckt werden kann, noch nicht vorhanden sind, so wird man die Zinsen des Baukapitals als einen Teil der gesamten Herstellungskosten ansehen und zu diesen hinzurechnen müssen. Unter denselben Gesichtspunkt fallen auch die Kosten, die vor und während der Bauzeit durch die Entwurfsaufstellung, Bauleitung, Aufsicht und die sachliche Bureauunterhaltung entstehen.

Der Begriff der Tilgung ist der, daß jährlich eine Geldsumme, die in ihrer Höhe von der voraussichtlichen, eingeschätzten Dauer des Werkes abhängt, abgetragen wird, gleichsam als Rückzahlung des aufgewen-

deten Baukapitals. Dieser Tilgungsbetrag ist demnach so zu bemessen, daß mit dem Aufbrauch der Anlage, d. i. der Aufzehrung ihres wirtschaftlichen Wertes, die Rückzahlung beendet ist.

Bei Privatunternehmungen wird bisweilen neben der Tilgung noch ein Erneuerungsfonds (Abschreibung) gebildet mit der Maßgabe, daß die Summe aus dem jeweilig vorhandenen Wert der Anlage und dem aufgesammelten Erneuerungsbetrage in jedem Augenblick dem Neuwert entspricht. Aus dieser Rücklage soll nach Aufbrauch des Werkes der Neubau oder nach Verschleiß einzelner Teile (Maschinen, Leitungsnetz) die Ergänzung erfolgen können. Durch diesen Erneuerungs- und den Tilgungsbetrag wird das Werk zwar doppelt belastet, das Unternehmen steht dann aber sehr selbständig da. Der Wert der Anlage bleibt ständig unverändert. Wenn lediglich die Tilgung erfolgt, so wird dies für ein junges Unternehmen an sich vorteilhafter sein, da die ersten Betriebsjahre ohnehin größere Schwierigkeiten zu überwinden haben und darum jede mögliche Entlastung erwünscht sein wird. Es ist oft der Fall, daß bei einem im Grunde durchaus gesunden Unternehmen anfänglich die Einnahmen nicht die Ausgaben decken und daß man genötigt sein wird, einen Teil von den letzteren auf die Herstellungskosten zu schlagen. Man rechnet für den Erneuerungsfonds bei Maschinen (Turbinen und Dynamos) etwa 4 bis 6 v. H., bei Gebäuden 1 bis 2 v. H., bei Leitungsnetzen etwa 4 v. H. des Wertes. Einige Zahlenangaben hierüber s. auch Berthold, Praxis der Elektrizitätswerke.

Staatliche und städtische Anlagen pflegen solche Aufsparungen für Erneuerungs- und Erweiterungsbauten nicht vorzunehmen. Für private Unternehmungen aber wird zur Wahrung eines gesicherten Betriebes die Ansammlung einer Rücklage in gewisser, von den jeweiligen Umständen abhängigen Höhe nicht zu umgehen sein. Auch gut arbeitende Anlagen können leicht von ihrer Höhe herabsinken, wenn ihre Einrichtungen durch neue Erfindungen veralten und an Wirtschaftlichkeit hinter Maschinen andrer Werke zurückstehen. Da werden oft neue Ausrüstungen erfolgen müssen, ehe noch die vorhandenen Betriebsanlagen aufgebraucht und getilgt sind. Erfahrungen erweisen dies.

Der Frage der Entschädigung für Wasserentziehung ist schon im vorigen Abschnitt IV A gedacht worden. Die Ausgaben dafür fallen unter die Anlagekosten, sofern eine einmalige Abfindung erfolgt. Geschieht dies nicht, so werden sie dauernd bei dem laufenden Betriebs-

aufwande in die Erscheinung treten, ebenso wie die Abgaben für Wasserzins (Anerkennungsgebühr), Steuern, Versicherungsbeiträge aller Art, Einzahlungen für Pensionskassen, Wohlfahrtseinrichtungen u. a. m. Die Höhe dieser Beiträge hängt zum wesentlichen ab von dem Gedeihen des Unternehmens und ist daher mehr Sache seiner späteren Entwicklung, als daß dies Gegenstand der Berücksichtigung bei Ertragsberechnungen für Neuanlagen zu sein pflegt. Auch die durch Wasserschäden und Unfälle entstehenden Unkosten lassen sich schwer voraussehen, sie sind durch den mehr oder minder gefahrvollen Charakter der wasserbaulichen Anlagen und des Betriebes bedingt. Immerhin wird es auch hier erwünscht sein, in guten Zeiten für solche unvermutete Vorkommnisse Bestände zu schaffen, um das Werk vor wirtschaftlichen Erschütterungen zu bewahren.

Für den Betrieb eines größeren Wasserkraftunternehmens von etwa 10 bis 12000 PS. unter der Voraussetzung, daß noch eine Dampfreserve vorhanden ist, sind an Personal etwa notwendig:

1. Die Zentralverwaltung.
   - 1 Direktor
   - 1 Ingenieur
   - 1 Buchhalter
   - 2 Schreiber
   - 4 Monteure und Zählerkontrolleure, zugleich Zeichner.
2. Der Kraftbetrieb.
   - 1 Maschinenmeister
   - 3 Maschinisten
   - 2 Schaltbrettwärter,
   - 4 Arbeiter.
3. Betrieb des Leitungsnetzes: Überlandzentrale 100—160 km; Hochspannung.
   - 1 Obermonteur
   - 12 Streckenaufseher
   - 2 Schreiber.
4. Betrieb der Dampfzentrale. Maschinenmeister für beide Werke. Austausch des Personals kann auch sonst erfolgen.
   - 1 Maschinist,
   - 2 Schaltbrettwärter,
   - 2 Arbeiter.

Der Betrieb der Kraftwerke der Stadt Schaffhausen (Leistung 2700 PS. in 2 Kraftwerken) erfordert:

1 Direktor (zugleich Direktor der städtischen Straßenbahn),

1 Betriebsassistent
1 Techniker
1 Buchhalter
} Bureau.

1 Chefmaschinisten
8 Maschinisten und Hilfsarbeiter
} Kraftwerke.

1 Chefmonteur
10 Monteure und Hilfsarbeiter
} Betrieb des Leitungsnetzes.

Im Betriebe des Talsperren-Elektrizitäts- und Pumpwerkes der Stadt Solingen (Maschinenstärke 1550 PS.) sind tätig:

1 Maschinenmeister
2 Maschinisten für den Tagesdienst.
2 » » » Nachtdienst.
2 Mann zum Putzen und für kleinere Dienste.
1 Mann für Werkstättendienst.
1 Talsperrenwärter.

Die notwendigen Zahlenunterlagen für die Aufrechnungen zu II werden dem Entwurfe entnommen werden können, unter Berücksichtigung der in anderen Abschnitten dieser Abhandlung gegebenen Gesichtspunkte. Für die Berechnung der Betriebsausgaben werden die Sätze der nachstehenden Tabelle 41 benutzt werden können. Aus den Ergebnissen der Ermittlungen nach I (Betriebsausgaben) und II (z. B. Zahl der jährlich erzeugten Pferdekraftstunden) folgen dann ohne weiteres durch Division die Selbstkosten. Allerdings ist, ebenso wie bei der Schätzung der Preise für die abgegebene Kraft die Art des Betriebes — wie hier mehrfach erörtert ist — von Bedeutung. Dabei wird man sich vergegenwärtigen müssen, daß man in den Ertragsberechnungen Vorsicht obwalten lassen muß. Man darf nicht wohl die ganze aus einer Wasserkraft gewinnbare Energie als nutzbar und verkäuflich in Ansatz bringen. Ein Teil der Kraft geht im Eigenbetriebe des Werkes für Beleuchtung und Werkstättenbetrieb auf. Aber auch der Rest wird erfahrungsmäßig infolge der im Kraft- und Lichtbedarf öffentlicher Werke auftretenden Schwankungen nicht voll ausgenutzt. Am vorteilhaftesten kann man sich diesem wechselnden Verbrauch bei einer Talsperrenkraftanlage anpassen, wo der Stauweiher als Akkumulator dient. Man wird im Mittel

nur mit Dreiviertel der vorhandenen Kraft als wirklich nutzbar in der Abgabe rechnen dürfen. Bei Talsperrenkraftwerken mit gutem Ausgleich bringt man wohl 80 v. H., bei Flußkraftwerken nur etwa 66 v. H. in Ansatz.

Zum Vergleich für die ermittelten unmittelbaren Betriebskosten kann

Tabelle 41. Gesamte Betriebskosten von Wasserkraftanlagen in Hundertsteln der Anlagekosten.

Zinsfuß: 3,5 v. H.

Bau	Unterhaltung, Verzinsung, Tilgung, Verwaltung bzw. Bedienung v. H.	Unterhaltung, Bedienung und Betrieb v. H.	Tilgung v. H.	Bemerkungen
Große Talsperren ohne Kraftwerk	4 1/4	1/4	1/2 (Höchstwert)	Bei Dampf-Elektrizitätswerken rechnet man für Verzinsung und Tilgung 6 bis 8 v. H. des gesamten Anlagekapitals (Gebäude, Maschinen u. Leitungsnetz nebst Ausrüstung); für die unmittelbaren Betriebskosten 6 bis 7 v. H. Die Kosten der Zentralverwaltung (Betriebsbureau) bei größeren Kraftwerken kann man zu 1,5 v. H. annehmen.
Große Talsperren mit Kraftwerk				
ohne elektr. Übertragung	5	1/2 bis 3/4	1	
mit » »	10	2	4	
Kleinere Talsperren, Wehre, Betriebskanäle, Stollen und ähnliche Werke der Wasserfassung	6—7	1 1/2	1—2	
Maschinen, elektrische Anlagen, Leitungsnetze				
große Anlagen	10	2	5	
mittlere Anlagen bis etwa 10 000 PS. Leistung	12—15	4—5	5—7	
Kraftgebäude	6 1/2—8	1	2	
Druckrohrleitungen und ähnliche Leitungen in der Erde	5—6	1/2	1—2	
Wasserkraftanlagen mittlerer Größe				
ohne elektr. Übertragung	10—11	3	3—4	
mit » »	12	4	4.5	

die nachstehende Tabelle 42 dienen, die die Eigenkosten in Form der unmittelbaren Betriebskosten angibt, die Hoppe auf Grund der Statistik der deutschen dampfbetriebenen Elektrizitätswerke aufgestellt hat[1]), sowie die Tabelle 43 über die gesamten Selbstkosten in einigen städtischen Zentralen.

Der Unterschied zwischen den jährlichen Betriebskosten eines Wasser-

1) E. T. Z. 1905.

kraftwerkes und einer Wärmekraftanlage von gleicher Stärke wird den Nutzen der Wasserkraft erkennen lassen. Wenn dieser Unterschied kapitalisiert wird, so drückt sich in dieser Summe der Mehrwert der Wasserkraft in Geldeswert aus d. h. die wirtschaftliche Ersparnis gegenüber der gleichen Arbeitsleistung einer Wärmemaschine.

Der erzielbare Preis der Kraft hängt enge mit der gesamten wirtschaftlichen Lage des Bezirkes zusammen und wird der Marktlage angepaßt werden müssen. Dabei muß man berücksichtigen, daß die Wasserkraftausnutzung sich heute das Feld erobern muß und meist auf einen nicht leicht überwindbaren Wettbewerb mit schon vorhandenen öffentlichen Elektrizitätswerken stößt. Aber auch das Mißtrauen, das

Tabelle 42. Unmittelbare Betriebskosten für 1 Kilowattstunde in deutschen dampfbetriebenen Elektrizitätswerken.

Leistungsfähigkeit der Werke in K.W.	Unmittelbare Betriebskosten[1]) für 1 nutzbar abgegebene Kilowattstunde Mk.	Bemerkungen
über 5000	0,10	Unter »unmittelbare Betriebskosten« sind verstanden die Kosten für Brenn-, Schmier-, Packstoff u. Dichtung, Gehälter und Löhne, Unterhaltung und sonstige Betriebsunkosten. Nicht darin enthalten sind die Verzinsung, Tilgung und Abschreibung des Baukapitals.
2000 bis 5000	0,12	
1000 bis 2000	0,13	
500 bis 1000	0,14	
250 bis 500	0,15	
100 bis 250	0,16	
unter 100	0,20	

noch vielfach gegen die Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit der Wasserkräfte vorhanden ist, muß überwunden werden. Selbst in Nordamerika, einem Lande, das so reich an Wasserkräften ist und wo ihre Ausnutzung in den letzten Jahren so wesentliche Fortschritte gemacht hat, klagt man noch über das geringe Interesse, das diese Frage in der großen Bevölkerung findet. Wenn ein einträgliches Kohlenbergwerk eröffnet wird, schreibt Eng. Rec.[2]), so würde man das Gebiet durchstöbern, um noch ein weiteres Kohlenfeld zu finden. Aber günstige Möglichkeiten zur Erschließung von Wasserkräften bestehen Jahr um Jahr unerforscht und unbeachtet, obgleich leicht erreichbar. Der gewöhnlich gut unter-

1) Auf Brennmaterial (Kohlen) entfallen davon 50 bis 70 v. H.
2) 29. 12. 06.

richtete Geschäftsmann nimmt Kenntnis von jeder Art von Bergwerksbetrieb, aber verbleibt vollständig zurückhaltend, wenn er von einer Konzession für die Erschließung von tausend hydraulischen Pferden in der Nähe erfährt. Man sieht das Heil, um dieser Gleichgültigkeit der Öffentlichkeit zu steuern, auch in Amerika in der Verbreitung einer anzustrebenden besseren und systematischen Kenntnis der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse, die durch die hydrographische Arbeit der Geological Sur-

Tabelle 43. Selbstkosten des elektrischen Stromes in städtischen Zentralen[1]).

	Leistungsfähigkeit des Werkes KW.	Selbstkosten	
		unmittelbare Betriebskosten[2]) Pf./KW.-St.	insgesamt[3]) Pf./KW.-St.
Hamburg	3000	6,6	9,6
Breslau	1700	17,3	33,0
	7900	7,54	18,04 (1903/04)
		7,31	17,25 (1904/05)
Düsseldorf . . .	1000	14,4	36,0
Traben-Trarbach .	62	16,9	27,0
Köln	4000	—	9,7 bis 23,2 (1892 bis 1902)
Charlottenburg . .	3400	—	10,0 (1901)
			6,0 bis 7,0 (nach Anschluß der Bahnhöfe)
Nürnberg	3250	10,5	20,1 (1905)

vey gefördert werden soll. Vor allem ist man bestrebt, das Interesse des Kongresses und der Abgeordneten für diesen nationalen Gegenstand wachzurufen.

Alle diese Umstände nötigen oft zu einer niedrigen Preisgestaltung, um Eingang zu finden und festen Fuß zu fassen und den vollen Erfolg

1) Zum Teil nach Schmidt, Elektrotechnik.
2) Kohlen, Schmiermaterial, Gehälter, Löhne und Unterhaltung.
3) Annahme von 4 v. H. zur Verzinsung und Tilgung des Kapitals.

für die Zukunft zu erhoffen. Es sei zum Vergleich bemerkt, daß nach den Ermittlungen Hoppes die mittlere Einnahme aus Licht- und Kraftstrom bei deutschen öffentlichen Elektrizitätswerken 31 bis 32 Pf. für 1 Kilowattstunde beträgt. Weiteres über die Preisgestaltung s. später.

Zur Beurteilung der Frage des Reingewinns ist zu erwähnen, daß man bei dampfbetriebenen Elektrizitätswerken einen Bruttoüberschuß von 10 v.H. des gesamten Anlagekapitals zur Deckung der Verzinsung, Tilgung und Abschreibung für notwendig hält, falls das Betriebsergebnis als ein günstiges bezeichnet werden soll[1]). Sowohl bei dem Rheinfelder wie bei dem Laufenburger Werk ist die zulässige Gewinnhöhe auf

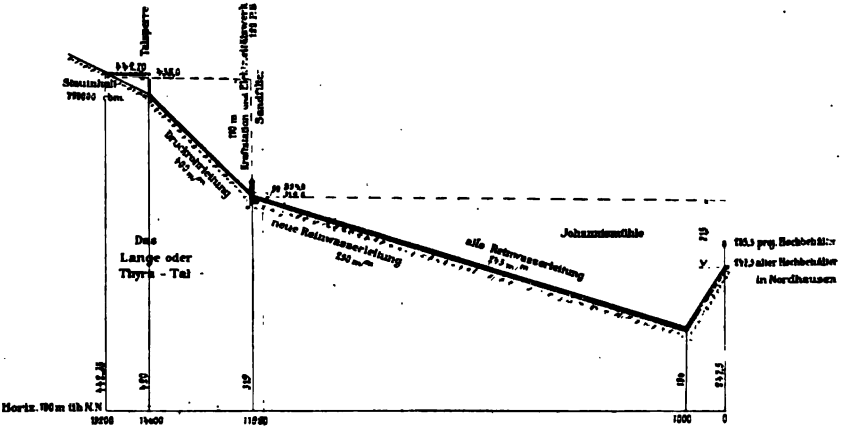


Abb. 220. Talsperre mit Elektrizitätswerk, Sandfilteranlage und neuer Reinwasserleitung nach Nordhausen a. Harz (Entwurf I).

10 v. H. festgesetzt. Die Gewinnmöglichkeit solcher Unternehmungen darf nicht zu sehr beschränkt werden, wenn man nicht das Privatkapital abschrecken will. Allerdings bedarf es dann, damit die Gewinnhöhe nicht verschleiert wird, besonderer Festsetzungen über die Bilanzaufstellung[2]).

Ertragsberechnungen als Vorarbeit zu ausgeführten Wasserkraftunternehmungen.

Es wird im Anschluß an die vorstehenden Erörterungen interessieren, wenn hier einige Beispiele von Ertragsberechnungen eingeschaltet werden aus den Vorarbeiten zu ausgeführten Wasserkraftunternehmungen, denn der Sinn und die Bedeutung allgemeiner Darlegungen wird am verständlichsten an Vorgängen aus der Praxis.

1) Journal f. Gasbel. u. Wasservers. 1906 S. 48.
2) Beiträge zur Hydrographie des Großh. Baden XII. Heft.

Vergleichende wirtschaftliche Aufrechnungen für den Bau des Talsperrenkraftwerkes der Stadt Nordhausen a. Harz.

Die von der Stadt Nordhausen a. Harz in den Jahren 1903/05 unter der Oberleitung des Verfassers entworfene und erbaute Talsperre von 770000 cbm Stauinhalt liegt rd. 11 km von der Stadt entfernt in den Ausläufern des Südharzes, mit ihrem Wasserspiegel 443 m über dem Meeresspiegel. Das Gesamtgefälle vom Stauspiegel des Beckens bis zur mittleren Stadtlage beträgt rd. 230 m, davon entfallen 195 m auf den Höhenunterschied zwischen dem höchsten Wasserstand in der Talsperre und dem des Hoch- und Verteilungsbehälters auf dem Geiersberge unmittelbar neben der Stadt. Die 10,6 km lange Wasserzuführung erfolgt durch ein 400 mm weites Rohr.

Die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse der Talsperre sind auf S. 106 erörtert worden.

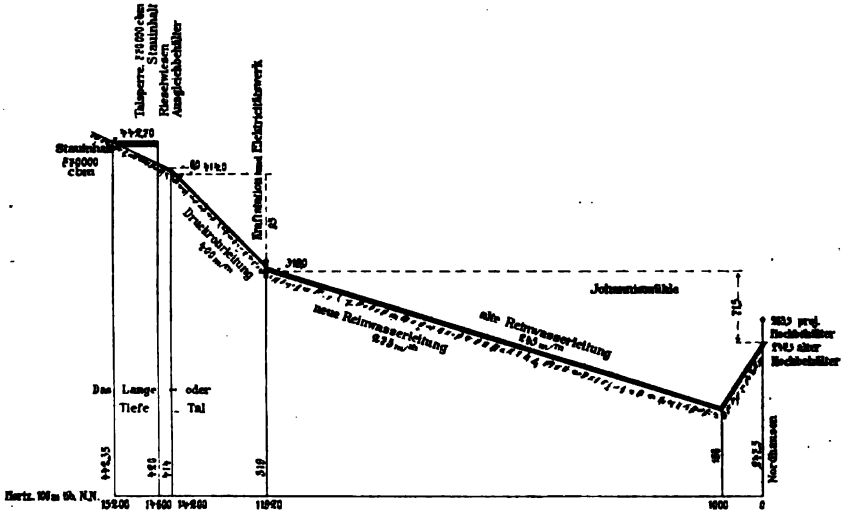


Abb. 221. Talsperre mit Elektrizitätswerk, Rieselwiesen und neuer Reinwasserleitung nach Nordhausen a/Harz (Entwurf II).

Die Anlage war ursprünglich lediglich für Trinkwasserzwecke geplant und das Staubecken sollte eine bessere Ausgleichung des Wasserabflusses für die trockne Sommerzeit in dem Bache herbeiführen, der als solcher bereits seit etwa 30 Jahren die Wasserversorgung gemeinsam mit einer Stollenanlage lieferte. Es geht aus jenen Untersuchungen hervor, daß selbst in einem Jahre mit so außergewöhnlich trocknem Sommer wie 1904 eine Wasserabgabe von 4500 cbm täglich gesichert ist. Das entspricht einem Jahresabfluß von 1900000 cbm. In einem Jahre mit mittlerem Niedrigabfluß stehen 2,3 Mill. cbm, und in einem Jahre mit mittlerem Abfluß annähernd 3,0 Mill. cbm zur Verfügung.

Als der Verfasser im Frühjahr 1903 mit den Vorarbeiten zur Ausführung der Talsperre in Berührung kam, wurde von ihm die Frage aufgeworfen und technisch und wirtschaftlich geprüft, ob es möglich sei, mit der Wasseraufspeicherung eine Kraftgewinnungsanlage zu verbinden, ohne damit den Zweck der Trinkwasserversorgung in irgend einer Weise nachteilig zu beeinflussen. Diese Ermittlungen, die zunächst den Bau des Kraft-

werkes etwa 2,6 km unterhalb der Talsperre — also eine Brechung des Gesamtgefälles — ins Auge faßten (I und II, s. Abb. 220 u. 221), ergaben, daß dies mit gutem wirtschaftlichen Erfolge geschehen konnte, da von der Talsperre bis zum Hochbehälter in Nordhausen abzüglich jener Druckhöhe, die erforderlich ist, um das Wasser dem Schwergewichte folgend mit natürlichem Gefälle in die Stadt zu bringen, ein Gefälle von 95 bzw. 110 m verblieb. Wenn man das im Sammelbecken aufgespeicherte Wasser, ehe es zur Stadt floß, unter Benutzung dieses Druckes durch Turbinen oder Peltonräder schickte, so konnte dadurch eine für städtische oder industrielle Zwecke nutzbare Kraft geschaffen werden, deren Absatz nach Umwandlung in elektrische Energie und gegebenenfalls Fernleitung die Wirtschaftlichkeit des ganzen Talsperrenunternehmens wesentlich zu heben versprach.

Als dritte Ausführungsmöglichkeit (III) für die Ausnutzung der Kraft kam in Betracht, das Kraftwerk in Nordhausen selbst zu errichten (s. Abb. 100 u. 101). Eine neue Rohrleitung zur Überführung des Trinkwassers von der Talsperre nach dem vorhandenen Hochbehälter auf dem Geiersberge mußte an sich gebaut werden. Die Nutzbarmachung der Wasserkraft erforderte die Erweiterung des Rohrquerschnittes von 250 mm auf 400 mm Durchmesser. Bei dieser Anordnung konnte das Gesamtgefälle von dem Staubecken bis zum Hochbehälter als Betriebsdruck verwertet werden.

Den Berechnungen der Mindestleistung und der Rentabilität der Kraftgewinnung ist eine Wasserabgabe von 50 l/sek., d. i. ein Tagesabfluß von 4320 cbm zugrunde gelegt. Es schien nicht angängig — wenigstens solange nicht ausreichende Erfahrungen im Betriebe der Talsperre gesammelt waren — über dieses Mindestmaß herauszugehen, um die Trinkwasserversorgung unter allen Umständen sicher zu stellen. Eine weitergehende Kraftausnutzung konnte immerhin erwartet werden, zumal der Stadt Nordhausen neben dem Sammelbecken die erwähnte altvorhandene Stollenanlage als Reserve zur Verfügung steht, die in trockenster Zeit 800 cbm täglich liefert. Daher sind zum Vergleich die Kraftverhältnisse und wirtschaftlichen Erträge auch für mittlere Wasserabflußverhältnisse geprüft worden.

Die Untersuchungen für die Kraftwerke I und II bei Neustadt u. H. unterschieden sich durch die in zweifacher Art mögliche Reinigung des Talsperrenwassers für Trinkzwecke in Rieselwiesen oder in Sandfiltern. Die Reinigung des Wassers ist später zwar ganz unterblieben, da die vorzügliche Beschaffenheit des Niederschlagsgebietes mit reicher Bewaldung und ohne Anbau ein reines und für Trinkzwecke ohne weiteres verwendbares Wasser sichert. Die Kraftausnutzung unter Verwendung der Rieselwiesen schied daher im Laufe der Vorarbeiten aus. Immerhin seien auch diese Ergebnisse mitgeteilt, da sie nicht ohne allgemeines Interesse sind. In den Fällen II und III ist, wenn zwar gegenwärtig die Wasservereinigung nicht stattfindet, die Möglichkeit der späteren Einschaltung von Filteranlagen offengehalten.

Die 3 Anordnungen, nach denen die Ausnutzung der Wasserkraft erfolgen konnte, seien nachstehend kurz erörtert:

I. Talsperre mit Elektrizitätswerk bei Neustadt u. Harz, Sandfilteranlage und neuer Rohrleitung von 250 mm Durchmesser nach Nordhausen (s. Abb. 220).

(Entwurf.)

Die Gesamtanlage gliedert sich in folgende Einzelbauten:

1. Talsperre von 770 000 cbm Stauinhalt.
2. Druckrohrleitung von 400 mm l. W. und 2680 m Länge, Gesamtgefälle 110 m.
3. Kraftwerk von 120 PS. Leistungsfähigkeit.

4. Neue Rohrleitung von 250 mm l. W. und 11 920 m Länge nach dem Hochbehälter in Nordhausen.

Der Betrieb würde sich hierbei, wie folgt, abwickeln:

Die Turbinen im Kraftwerk arbeiten unter dem unmittelbaren Druck des Wasserstaues am Sammelbecken in ununterbrochenem Betriebe. Im Kraftwerk erfolgt die Umsetzung der Wasserkraft in elektrische Energie. Der Abfluß aus den Turbinen nach dem Hochbehälter geschieht durch die neue Rohrleitung von 250 mm l. W., die zur Ergänzung bzw. zum Ersatz der abgängigen alten und in ihrer Leistung unzureichenden Leitung von 245 mm Durchmesser eingebaut wird. Unterhalb des Kraftwerkes ist die spätere Einschaltung einer Sandfilteranlage, wenn erforderlich, vorgesehen, durch die das Wasser behufs Reinigung vor Eintritt in die Stadtleitung hindurch gehen mußte.

Wie die nachstehende Aufrechnung ergibt, stellen sich die Mehrkosten für den Kraftausbau bei Neustadt nach vorbeschriebener Art auf 80 000 Mk. Die Leistungsfähigkeit des Werkes beträgt bei Abgabe von 50 l/sek. Betriebswasser 344 000 Kilowattstunden jährlich, und die Selbstkosten der elektrischen Energie, wenn 80 v. H. nutzbar abgegeben werden, 2,6 Pfg. für 1 Kilowattstunde, bezogen auf die durch das Kraftwerk bedingten Mehrkosten. Bei Fernübertragung nach Nordhausen würden sich die Kosten am Endpunkt der Fernleitung in Form von Gebrauchsspannung auf 3,7 Pfg. für 1 Kilowattstunde ergeben.

A. Leistungsfähigkeit des Kraftwerkes.

Betriebswasser: 50 l/sek. während 24 Stunden.

Gefälle.

Wasserspiegel im gefüllten Becken	442,70	N. N.
Der Wechsel des Wasserstandes im Betriebe des Beckens ist zu 17,40 m angenommen. Im Mitttel	8,70	m
mittlerer Wasserspiegl im Becken	434,00	N. N.
Wasserspiegel im Unterwasser.	319,00	
bleibt	115,00	
Ab für Gefällverlust am Sandfilter und Reibungsverluste in der Rohrleitung	5,00	
Nutzgefälle	110,00	m

Arbeitsleistung bei 80 v. H. Nutzwirkung im Wassermotor $\frac{50 \cdot 110 \cdot 0{,}80}{75} = 59$ PS.

B. Kostenüberschlag über die durch den Kraftausbau bedingten Mehrkosten.

		Mk.
a. Kraftausnutzung bei Neustadt u. H.		
1. Druckleitung von der Talsperre bis zum Kraftwerk. Durchmesser 400 mm. Gesamtlänge 2680 m. 2680 m gußeiserne Muffenrohrleitung von 400 mm l. W. zu liefern und zu verlegen einschl. Ausrüstung mit Schiebern je 35,0 Mk.	93 800	
Davon ab die Kosten für 2680 m Trinkwasserleitung 250 mm Durchmesser je 16,0.	42 900	
	50 900	50 900
2. Kraftgebäude, 50 qm		5 000
3. 2 Turbinen für eine Betriebswassermenge von 50 l/sek. je 60 PS. Leistung einschl. Zubehör		6 500

	Übertrag:	62 400 Mk.
4. Elektrische Einrichtung des Kraftwerkes mit Dynamos, Schalttafel und Zubehör		10 500
5. Insgemein 10 v. H.		7 100
zusammen		80 000
b. Fernübertragung nach Nordhausen.		
6. Fernübertragung auf rd. 8 km mit Drehstrom, 5000 Volt Spannung		20 000
Gesamtkosten		100 000

C. Betriebskosten:

a. Kraftausnutzung bei Neustadt.		Mk.
1. Verzinsung, Tilgung und Unterhaltung der Rohrleitung und Bauanlagen 6 v. H. von 63 000	3 780	
2. Verzinsung, Tilgung, Unterhaltung und Betrieb der maschinellen Anlagen 20 v. H. von 17000 M. . . .	3 400	
	7 180 ~	7 200
b. Fernübertragung nach Nordhausen.		
Verzinsung, Tilgung und Unterhaltung der Fernleitung 10 v. H. von 20 000 M.		2 000
		9 200

D. Selbstkosten der elektrischen Energie:

a. Im Kraftwerk bei Neustadt u. H.

Bei ununterbrochener 24 stündiger Abgabe von 50 l/sek. Betriebswasser können im Jahr gewonnen werden $\frac{86400 \cdot 365 \cdot 50 \cdot 110 \cdot 0{,}80}{60 \cdot 60 \cdot 75} = 520000$ Pferdekraftstunden. Hiervon stehen als elektrische Energie bei 90 v. H. Nutzwirkung der Dynamos im Kraftwerk zur Verfügung $5\,200\,00 \cdot 0{,}90 \cdot 0{,}736 = 344\,000$ Kilowattstunden. Nimmt man an, daß hiervon 80 v. H. nutzbar abgegeben werden können, so stellt sich der Selbstkostenpreis der Energie auf $\frac{7\,200 \cdot 100}{275\,000} = 2{,}6$ Pf. für 1 Kilowattstunde.

b. bei Fernübertragung nach Nordhausen.

Bei der Annahme, daß in der Fernleitung (5000 V.) und in der Transformierung auf die Gebrauchsspannung 10 v. H. der Energie verloren gehen, können in Nordhausen jährlich rd. 248 000 Kilowattstunden abgegeben werden und die Selbstkosten betragen $\frac{9\,200 \cdot 100}{248\,000} = 3{,}7$ Pf. für 1 Kilowattstunde.

II. Talsperre mit Elektrizitätswerk bei Neustadt u. H., Rieselwiesen und neuer Rohrleitung von 250 mm Durchmesser nach Nordhausen (s. Abb. 221).

(Entwurf.

Die Gesamtanlage gliedert sich in folgende Einzelbauten:

1. Talsperre von 770 000 cbm Stauinhalt.
2. Druckrohrleitung von 400 mm l. W. und 2 300 m Länge, Gefälle 95 m.
3. Kraftwerk für 100 PS. Leistung.
4. Neue Rohrleitung von 250 mm l. W. und 11 920 m Länge nach dem Hochbehälter in Nordhausen.

Für die Wasserreinigung sind unterhalb der Sperrmauer Rieselwiesen vorgesehen. Der Betrieb würde sich dann in folgender Weise gestalten:

Das dem Sammelbecken entnommene Wasser wird behufs Reinigung für Trinkzwecke auf die Rieselwiesen geleitet. Das gereinigte Wasser sammelt sich in einem Behälter, der in der Erde liegt, überwölbt und mit Erdschüttung überdeckt ist. Dieser Behälter hat den Zweck, die Schwankungen des Abflusses aus den Rieselwiesen und der Entnahme der Turbinen auszugleichen und für die letzteren eine stets gleichbleibende Druckhöhe zu schaffen. Im Kraftwerk erfolgt die Umsetzung der Wasserkraft in elektrische Energie. Nach Durchgang durch die Turbinen gelangt das Wasser in einer 250 mm weiten neuen Rohrleitung, die zur Ergänzung bzw. zum Ersatz der hinfälligen alten 245 mm weiten Leitung vorgesehen wurde, nach dem Hochbehälter in Nordhausen.

Die auf gleicher Grundlage wie zu I angestellte Ermittlung ergab die Gesamtkosten für den Kraftausbau zu 66 000 Mk. Die jährliche Leistungsfähigkeit im Kraftwerk betrug 298 000 K. W.-Stunden bei 50 l/sek Betriebswasser, die Selbstkosten der elektrischen Energie im Kraftwerk sind 2,3 Pf. für 1 K. W.-Stunde, bezogen auf die durch den Kraftausbau bedingten Mehrkosten, bei Fernübertragung nach Nordhausen 3,5 Pf./K.W.-Stunde.

III. Talsperre mit Elektrizitätswerk auf dem Geiersberge in Nordhausen und 10,6 km langer Druckleitung von 400 mm l. W. (s. Abb. 101).

(Ausführung).

Von dem mittlern Wasserspiegel der Talsperre bis zum höchsten Wasserstand im Hochbehälter steht eine Gefällhöhe von 186 m zur Verfügung. Zwischen den Turbinen und dem Hochbehälter ist die Möglichkeit des spätern Einbaues eines Sandfilters vorgesehen. Abzüglich der dafür erforderlichen Höhe und der Reibungsverluste in der Rohrleitung bei 50 l/sek. Entnahme ist eine nutzbare Gefällhöhe von 178 m vorhanden. Der größte ruhende Druck vom gefüllten Staubecken bis zur Turbine beträgt $\sim$ 192 m.

Die Anlage setzt sich aus folgenden Einzelbauten zusammen:

1. Talsperre von 770 000 cbm Stauinhalt.
2. Druckrohrleitung von rd. 10,6 km Länge und 400 m/m l. W.
3. Kraftwerk auf dem Geiersberge für 170 PS. Leistung.

Der Betrieb gestaltet sich in folgender Weise:

Die Turbine arbeitet unter dem unmittelbaren Druck des Wasserstandes in der Talsperre normal mit einem gleichmäßigen Abstrom von 50 l/sek.. Der Ausgleich zwischen dem ungleichen Wasserbedarf des Kraftwerks und der Trinkwasserversorgung der Stadt geschieht in dem vorhandenen Hochbehälter, der mit 4000 cbm Inhalt den Trinkwasserbedarf eines Tages deckt. Eine Änderung in der Kraftwasserentnahme bis höchstens 100 l/sek. darf nur in allmählicher Weise erfolgen (s. S. 211).

Die nachfolgenden wirtschaftlichen Untersuchungen lassen erkennen, daß diese Anlage in den Mehrkosten für den Kraftausbau, die 237 000 Mk. betragen, wesentlich teurer als die bei den ersteren Entwürfen war. Die jährliche Leistungsfähigkeit des Werkes bei 50 l/sek. beträgt 550 000 K. W.-Stunden. Infolge des größeren Kraftgewinns sind die Gestehungskosten für die Krafteinheit mit 3,4 Pf. für 1 Kilowattstunde nicht wesentlich höher als in den anderen Fällen bei Abgabe im Kraftwerk bei Neustadt und etwa die gleichen, wenn die in der Nähe der Talsperre gewonnene Kraft nach Nordhausen elektrisch übertragen werden soll.

Zunächst standen dieser Ausführungsweise einige technische Bedenken entgegen. Die Anordnung einer fast 11 km langen über Berg und Tal in wiederholtem Wechsel gehenden Druckleitung mit dem hohen Innendruck von 192 m mußte jene Befürchtungen

wachrufen, die auf S. 180 u. f. näher erörtert sind. Aber diese wurden beseitigt durch die konstruktiven Einrichtungen an der Druckleitung und im Krafthause zur Sicherung gegen die Druckschwankungen, die bei einem sachgemäßen gleichmäßigen Betrieb des Kraftwerkes ausreichend erscheinen, um Betriebsstörungen zu vermeiden (s. S. 215).

Andrerseits war nicht zu verkennen, daß die Anlage des Kraftwerkes unmittelbar an der Stadt manche Vorteile gegenüber der Lage draußen im Tale bot. Die gewonnene Kraft ist größer. Das fällt ins Gewicht in unserer Zeit mit hoher und steigender Bewertung mechanischer Kraftleistungen. Dazu kam der Umstand, daß die Krafterzeugung unmittelbar an einem Verbrauchsmittelpunkt erfolgte, wo eher auf Absatz als in dem entfernten Gebirgstale gerechnet werden konnte. In der weiteren Entwicklung der Voruntersuchung fand sich diese Absatzstelle. Die Stadt Nordhausen pflog mit der Staatsbahnverwaltung Verhandlungen wegen der Energieversorgung des Bahnhofs Nordhausen für Beleuchtung und Werkstättenbetrieb durch die Talsperrenkraft, die auch zum Abschluß führten. Aber die Bahnverwaltung stellte zu ihrer unbedingten Sicherstellung die Forderung, daß für die Wasserkraft eine volle Reserve durch eine Wärmekraftanlage geboten würde. Dies konnte durch den Bau eines besonderen Kraftwerkes für 100 K. W. Höchstleistung mit Akkumulatorenbatterie geschehen. Jedoch es erschien als eine günstigere Lösung, das Talsperrenkraftwerk mit einem privaten Elektrizitätswerk, das in Nordhausen für Kraft und Lichtabgabe und Straßenbahnbetrieb bereits vorhanden war und eine Leistung von rd. 420 K.W. besaß (s. S. 286), zu kuppeln. Diese Betriebsvereinigung machte aber die möglichst nahe Lage der beiden Werke zu einander erwünscht. Der Betrieb wurde dadurch zentralisierter. Die Einschaltung einer Umformerstation, die im Kraftwerk bei Neustadt für die Umsetzung der hohen Drehstrom-Übertragungsspannung in den Gebrauchsstrom des vorhandenen Werkes (Gleichstrom) notwendig gewesen wäre, konnte vermieden werden.

Alle diese Gründe waren ausschlaggebend für den Bau des Kraftwerkes auf dem Geiersberge an der Stadt. So bietet sich hier das Bild, daß die Fernübertragung einer Wasserkraft auf 11 km durch eine Rohrleitung sich vorteilhafter gestaltet als durch den elektrischen Strom. Dieses Ergebnis kann naturgemäß keine allgemeine Bedeutung haben, sondern geht aus den Bedingungen des Einzelfalles hervor. Die Fernleitung des Talsperrenwassers zu Trinkzwecken war an sich notwendig. Es entfiel demnach auf die Kraftübertragung nur die Mehraufwendung für den erweiterten Rohrquerschnitt und diese Lösung erwies sich infolge des größeren Kraftgewinns und unter den gegebenen Betriebsverhältnissen wirtschaftlich zweckmäßiger wie der Ausbau der Hochspannungsfernübertragung.

Zum Schlusse sei noch kurz die Wirtschaftlichkeit des Kraftausbaues in Beziehung zu den Gesamtkosten der Talsperrenanlage berührt. Diese Gesamtkosten betragen rd. 1,26 Mill. Mk. (s. S. 403), und es ergeben sich die Gestehungskosten bei Entnahme einer Betriebswassermenge von 50 l/sek. zu 13,6 Pf. für 1 K.W.-St. und in einem Jahr mit mittlerem Wasserabfluß zu 9,5 Pf/1 K.W.-St. Es folgt daraus, daß bei einem Verkaufspreis von 13 Pf. für die K. W.-Stunde, der als mäßig bezeichnet werden darf, die Gesamtausgaben für die Talsperre selbst bei der Mindestbetriebswasserabgabe zinsbar angelegt sind, während in Zukunft in einem mittleren Jahre 22 000 Mk. Reineinnahmen zu erwarten sind. Nicht außer acht zu lassen ist dabei, daß die Trinkwasserversorgung der Stadtverwaltung unentgeltlich zur Verfügung steht, woraus eine erhebliche Einnahme bei 4500 bis 5500 cbm täglicher Abgabe erzielt werden kann. Diese Verhältnisse werden sich nach Tilgung der Anlagekosten noch wesentlich günstiger gestalten.

III. a. Talsperre mit Elektrizitätswerk auf dem Geiersberge in Nordhausen, 11 km langer Druckleitung von 400 mm l. W., wenn nötig mit Sandfilter (s. Abb. 101).

(Ausführung).

A. Leistungsfähigkeit des Kraftwerkes.

Betriebswasser: 50 l/sek. während 24 Stunden. Gefälle: Wasserspiegel im gefüllten Becken. . . .		442,70 N. N.
Der Wechsel des Wasserstandes im Betriebe des Beckens ist zu 17,40 m angenommen. Im Mittel .		8,70 m
mittlerer Wasserspiegel im Becken		434,00 N. N.
Höchster Wasserstand im Hochbehälter auf dem Geiersberge		247,50 N. N.
		186,50 m
Hiervon ab: Reibungsverluste in der 400 mm weiten ~ 11 km langen Druckleitung bei 50 l/sek. Entnahme	4,90	
Für ein etwa später einzubauendes Sandfilter . .	3,00	
zus.	7,90 ~	8,00 m
bleibt Nutzgefälle		178,50 m
dafür		178,0 m

Arbeitsleistung bei 80 v. H. Nutzwirkung im Wassermotor $\frac{50 \cdot 178 \cdot 0{,}80}{75} = 95$ PS.

B. Kostenüberschlag über die durch den Kraftausbau bedingten Mehrausgaben (mit geringen Abweichungen entsprechen die Preise den Kosten der Ausführung).

		Mk.
1. Druckleitung 400 mm Durchmesser 10 600 m lang, bei verstärkten Wandungen im tiefer gelegenen Teile, je 37,3. . . . . ~	400 000	
Davon ab: Die Kosten für 10 600 m Leitung, Durchmesser 250 mm, die für die Trinkwasserversorgung an sich notwendig geworden wäre; bei verstärkten Wandungen im tiefer gelegenem Teile je 18,7. . . . . ~	200 000	
Mehrkosten der Druckleitung		200 000
2. Kraftwerk auf dem Geiersberge		
Kraftgebäude 50 qm	5 000	
1 Turbine für eine Betriebswassermenge bis 100 l/sek., 170 PS. Leistung, einschl. Zubehör . . .	8 000	
Elektrische Einrichtung, Dynamomaschinen und Zubehör, Schalttafel, ohne Fernleitung	12 000	
		25 000
3. Insgemein 5 v. H.		11 000
Gesamtkosten		237 000

C. Betriebskosten.

1. Verzinsung, Tilgung und Unterhaltung der Rohrleitung und Bauanlagen. Bei größerem Objekt 5,5 v. H. von 21 000 Mk. . . . . ~	11 900
2. Verzinsung, Tilgung, Unterhaltung und Betrieb der	

Übertrag:	11 900
maschinellen Anlagen. Bei vereinfachten Betriebsverhältnissen 15 v. H. von 20 000 Mk.	3 000
zus.	14 900

D. Selbstkosten der elektrischen Energie an der Dynamowelle.

Bei ununterbrochener 24stündiger Abgabe von 50 l/sek. Betriebswasser können im Jahr $\frac{86\,400 \cdot 365 \cdot 50 \cdot 178 \cdot 0{,}80}{60 \cdot 60 \cdot 75} = \sim 830\,000$ Pferdekraftstunden gewonnen werden. Hiervon stehen als elektrische Energie bei 90 v. H. Nutzwirkung im Kraftwerk zur Verfügung $830\,000 \cdot 0{,}90 \cdot 0{,}736 = 550\,000$ K.W.-Stunden. Nimmt man an, daß hiervon 80 v. H. nutzbar abgegeben werden können, so stellt sich der Selbstkostenpreis der Energie auf $\frac{14\,900 \cdot 100}{440\,000} = 3{,}4$ Pf. für 1 K.W.-Stunde.

IIIb. Kostenüberschlag für die Gesamtanlage der Talsperre von 770 000 cbm Stauinhalt mit 11 km langer Rohrleitung von 400 mm Durchmesser und Elektrizitätswerk auf dem Geiersberge von 170 PS. Leistung (annähernd Ausführungspreise).

I. Talsperre		
1. Vorarbeiten	40 000	
2. Grunderwerb	75 000	
3. Abfindung der Unterlieger für Wasserentziehung .	41 000	
4. Talsperre von 770 000 cbm Stauinhalt einschl. Nebenanlagen	420 000	
5. Wegeverlegungen	64 200	
6. Für Ausräumung des Staubeckens für Trinkwasserzwecke, Wärterhaus, Umzäunung des Beckens, Anpflanzungen, Wasserumleitung des Trinkwassers während der Bauzeit, Bauleitung	109 800	
zus. Talsperre		750 000
II. Rohrleitung von der Talsperre bis zum Kraftwerk auf dem Geiersberge 106 00 m je 37,30 . . . . . $\sim$		400 000
III. Kraftwerk auf dem Geiersberge (ohne Fernleitung) nach IIIa.		25 000
IV. Insgemein zu II u. III und zur Abrundung		25 000
Gesamtkosten		1 200 000

Bemerkung: Die Gesamtkosten nach der Ausführung haben sich einschließlich der elektrischen Übertragungsanlage vom Kraftwerk auf dem Geiersberge nach dem Elektrizitätswerke der Schuckert-Werke in der Stadt auf 1 260 000 Mk. gestellt (s. S. 403).

Betriebskosten.

1. Verzinsung, Tilgung und Unterhaltung der Bauanlagen: 5 v. H. von 420 000 + 398 000 + 109 800 + 5 000 + 27 000 = 959800 . . . . . =	47 990
2. Verzinsung, Tilgung, Unterhaltung und Betrieb der maschinellen Anlagen: 15 v. H. von 20 000. . .	3 000
3. Verzinsung und Tilgung der einmaligen Aufwendungen: 4 v. H. von 220 200.	8 804
zus. rd.	59 800

Selbstkosten der elektrischen Energie an der Dynamowelle:

a. Bei Abgabe von 50 l/sek. Betriebswassermenge $\frac{59\,800 \cdot 100}{440\,000} = 13{,}6$ Pf. für 1 Kilowattstunde.

b. in einem Jahr mit mittlerem Wasserabfluß.

In einem mittleren Jahre kann aus dem 5,7 qkm großen Niederschlagsgebiet der Talsperre auf einen Jahresabfluß von fast 3,0 Mill. cbm gerechnet werden. Der größte zukünftige Trinkwasserbedarf der Stadt Nordhausen ist zu 1 800000 cbm jährlich anzunehmen. Mithin stehen für Kraftzwecke allein 3000000 — 1 800000 cbm zur Verfügung. Wenn von diesem Überschuß im Winter $^2/_3$ und im Sommer $^1/_3$ abfließt, so beträgt die gesamte Abflußmenge

Tabelle 44.

Vergleichende wirtschaftliche Aufrechnungen für den Bau des Talsperrenkraftwerkes der Stadt Nordhausen a/H.

Zusammenstellung der Selbstkosten in Pfennigen für 1 Kilowattstunde.

Selbstkosten bezogen lediglich auf die Mehraufwendung für den Kraftgewinn bei 50 l/sek. Betriebswasser			Selbstkosten bezogen auf das Kapital für die Gesamtanlage der Talsperre mit Hochdruckleitung und Kraftwerk auf dem Geiersberge	
Talsperre mit Kraftwerk bei Neustadt u. H.		Talsperre mit Hochdruckleitung u. Kraftwerk auf dem Geiersberge in Nordhausen		
mit Sandfilteranlage	mit Rieselwiesen			
ohne Fernübertragung 2,6	ohne Fernübertragung 2,3		in einem trocknen Jahre bei 50 l/sek. Betriebswasser	in einem Jahr mit mittlerer Abflußmenge
mit elektr. Fernübertragung nach Nordhausen 3,7	mit elektr. Fernübertragung nach Nordhausen 3,5	3,4 (im Kraftwerk als elektrische Energie)	13,6 (im Kraftwerk als elektrische Energie)	9,5

im Sommer (stärkerer Trinkwasserverbrauch) $1\,000000 + \frac{1}{3} \cdot 1\,200000 = 1\,400000$ cbm

im Winter (geringerer Trinkwasserverbrauch) $800\,000 + \frac{2}{3} \cdot 1\,200000 = 1\,600000$ »

Wenn man im Interesse der sicheren Wasserversorgung auf die Kraftausnutzung des Überschusses im Sommer verzichtet und nur den Wasserüberfluß im Winter berücksichtigt, der sonst über den Überlauf der Talsperre ungenutzt abfließen würde, so hat man in einem mittleren Jahre $1\,000000 + 1\,600000 = 2{,}6$ Mill. cbm zur Verfügung. Die sekundliche Abflußmenge im Winter würde dann $\frac{1\,600000 \cdot 1000}{183 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24} = \sim 100$ l betragen. Die Kraftleistung ergibt sich, wenn man unter Berücksichtigung der größeren Reibung in der langen Rohrleitung mit einer Nutzhöhe von 170 m rechnet, zu rd. 170 PS. Die Jahresleistung beträgt $\frac{2\,600000 \cdot 1000 \cdot 170 \cdot 0{,}8}{75 \cdot 60 \cdot 60} = 1\,190000$ PS. Stunden. Unter den früheren An-

nahmen werden $1\,190000 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}736 \cdot 0{,}8 = \sim 629\,700$ K. W.-Stunden nutzbar. Der Selbstkostenpreis der Energie stellt sich dann auf $\frac{59\,800 \cdot 100}{629\,700} = 9{,}5$ Pf. für 1 K.W.-Stunde. Die Gestaltung des Betriebes, wie hier skizziert, kann für die Zukunft, wenn ausreichende Erfahrungen vorliegen, sicher erwartet werden. Legt man den niedrigsten Preis von im Mittel 13 Pf. für die K.W.-Stunde, wie er bei der Abgabe der Energie an die Staatsbahnverwaltung erzielt wird, zu Grunde, so ergibt sich eine Reineinnahme von $629\,700 \cdot 3{,}5 = \sim 22\,000$ Mk. Dabei sind alle Zinsen-, Tilgungs- und Unterhaltungskosten des Unternehmens bestritten und das Trinkwasser steht der Stadt Nordhausen unentgeltlich zur Verfügung.

Die Ergebnisse der vorstehenden Aufrechnungen sind in Tab. 44 zusammengestellt.

Aufrechnungen über den Pachtwert der Wasserkraft auf dem Geiersberge bei Nordhausen a. H.

Es ist an andrer Stelle (s. S. 287) mitgeteilt, daß die Stadt Nordhausen die Verwertung der in dem Talsperrenkraftwerke zu gewinnenden Wasserkraft an die Elektrizitäts-Aktien-Gesellschaft vorm. Schuckert u. Co. verpachtet hat gegen Zahlung einer Pauschalsumme von 15000 Mk. jährlich bei Entnahme bis zu 250000 K.W.-Stunden. Für jede weitere Kilowattstunde sind 5 Pf. an die Stadt zu zahlen. Dabei hat die genannte Firma die Maschinen im Kraftgebäude, die elektrischen Einrichtung sowie die elektrische Übertragung auf eigne Kosten einzurichten, zu unterhalten und den Betrieb zu führen.

Die nachfolgende Rechnung soll erweisen, inwieweit dieses Pachtabkommen wirtschaftlich berechtigt ist.

Hierfür sind die dem Dampfelektrizitätswerke aus dem Dampfverbrauch vermutlich erwachsenden Kosten zu berechnen. Die nutzbar zu machende Leistung des Wasserkraftwerkes ist nach den früheren Ausführungen zu mindestens 440000 K.W. im Jahr anzunehmen. Nach der Statistik der öffentlichen Elektrizitätswerke betragen für eine solche Leistung die Kosten des Dampfes i. D. 8,6 Pf. für 1 K.W.-Stunde.

Mithin im ganzen $440000 \cdot 0{,}085$ . . . . . =	37 840 M.
Die anteiligen Kosten für Schmiermaterial sind etwa 0,01 Pf./K. W.-Stunde; mithin im ganzen $440000 \cdot 0{,}01$ . . . . . =	4 400 »
zus.	42 240 M.

Die Kosten, die dem Dampfelektrizitätswerk zur Nutzbarmachung der Wasserkraft erwachsen, hängen ab von den notwendigen, oben erwähnten Aufwendungen für die maschinellen und elektrischen Einrichtungen. Diese Kosten haben rd. 50000 M. betragen. Die entsprechenden Betriebsausgaben gestalten sich etwa wie folgt:

1. Zinsen, Tilgung und Unterhaltung 10 v. H. von 50000	5 000 M.
2. Bedienung der Wasserkraftanlage	2 500 »
3. Schmiermaterial	4 400 »
	11 900 M.

Der Mietswert beträgt hiernach 42 240 — 11 900 = rd. 30300 M.

Die Stadt Nordhausen erhält bei vollem Kraftabsatz mindestens:	
Pauschalsumme	15 000 M.
Ferner: $(440000 - 250000) \cdot 0{,}05$	9 500 »
zus.	24 500 M.

Es geht hieraus hervor, daß das Dampfelektrizitätswerk die Wasserkraft noch etwas

unter dem Pachtwert ausnutzt. Das Werk hat außerdem die Möglichkeit, die gewonnene Kraft, wie aus den weiter unten mitgeteilten Tarifpreisen ersichtlich ist, zu wesentlich höheren Preisen als 5 Pf./K.W.-Stunde abzusetzen. Darin beruht der Gewinn des Werkes, wie ein solcher allerdings auch bei allen wirtschaftlichen Unternehmungen als treibende Kraft für die Kapitalsanlage und das übernommene Wagnis vorhanden sein muß.

Andrerseits aber erweist dieses Abkommen, wie durch diese Betriebsvereinigung die beiderseitigen Interessen gefördert wurden. Das wird der grundlegende Zug jedes wirtschaftlichen Vertrages sein müssen.

Kostenüberschlag für die Kraftabgabe aus der Heimbacher Kraftzentrale (Urfttalsperre).

bezüglich der in einer Verteilungsstation des Versorgungsgebietes nach elektrischer Übertragung zu fordernden Preise für die Pferdekraftstunde bzw. für die Kilowattstunde nach dem Entwurfe des Geh. Regierungsrat Prof. Dr. Ing. Intze[1]).

Berücksichtigt man die Wasserverhältnisse der Urft, so findet man, daß man aus dem unterhalb Gemünd geschaffenen Sammelbecken von $45^1/_2$ Millionen cbm Stauinhalt in Verbindung mit den Zuflüssen des halben Jahres, welches die anhaltende Trockenperiode in sich schließt, mit Sicherheit nur eine Leistung von 5000 PS. an allen Arbeitstagen Tag und Nacht hindurch den Abnehmern zur Verfügung stellen kann. Es ist daher zu empfehlen, daß man zur Vorsicht, wenn auch in den meisten Jahren eine solche Einschränkung durchaus nicht notwendig ist, die Kostenberechnungen auf der Grundlage durchführt, daß man nur imstande sein würde, an der Kraftzentrale in Heimbach in dem halben Jahre, welches die anhaltende Trockenperiode umfaßt, 4800 PS. an allen Arbeitstagen, Tag und Nacht gerechnet, zur Verfügung zu stellen, wobei es natürlich bezüglich der in Heimbach abzugebenden Gesamtleistung gleichgültig sein würde, ob dafür z. B. die doppelte Leistung (d. h. also 9600 PS.) nur an zwölf Stunden eines Tages während aller Arbeitstage des gesamten halben Jahres abgegeben werden müßte.

Es würde hierbei ferner wenig von Belang sein, ob an einzelnen Stunden eines Tages die ebengenannte mittlere Leistung von 9600 PS. noch wesentlich erhöht werden müßte, vielleicht auf 15000 bis 16000 PS., da das Sammelbecken als Regulator für große Schwankungen der gewünschten Leistungen dienen kann und bis zu den ebengenannten Grenzen auch der Hochdruckstollen von dem Sammelbecken nach der Kraftstation hin für die genannten Schwankungen noch ausreicht, ohne daß zu große Verluste bei dem Betriebe eintreten werden (s. S. 104).

Mit Rücksicht auf die Größe der etwa gewünschten Schwankungen würde nur die Kraftstation mit den erforderlichen Turbinen und Dynamomaschinen hinreichend groß auszuführen sein, um der geforderten Maximalleistung zu genügen, wodurch allerdings die Kosten der Anlage und des Betriebes eine entsprechende aber den Gesamtkosten gegenüber nicht sehr wesentliche Erhöhung im Vergleich zu einem vollständig gleichmäßigen Betriebe ohne Schwankungen erfahren müssen.

Würde nach den bisherigen genauen Erhebungen zur Sicherheit anzunehmen sein, daß in dem halben Jahre mit der Trockenperiode die Leistung im Mittel nur 4800 PS. Tag und Nacht hindurch während aller Arbeitstage betragen kann, so steigt doch die Leistung der Kraftzentrale in dem halben Jahre mit den größeren Zuflußmengen zum Sammelbecken

1) Nach der s. Z. von Geh. Rat Intze dem Verfasser freundlichst überlassenen Denkschrift.

im Mittel mindestens auf 7200 PS. Tag und Nacht hindurch an allen Arbeitstagen, sodaß für das ganze Jahr die mittlere Leistung von 6000 PS. jedenfalls zu erzielen ist. Da die nasse Periode, welche für die Monate Oktober bis einschließlich März oder November bis einschließlich April anzunehmen ist, diejenigen Monate enthält, in denen, wenigstens bei Abgabe von Licht, auch der größte Bedarf an elektrischer Energie sich herausstellen dürfte, während in den übrigen Monaten das Bedürfnis entsprechend herabgemindert sein wird, so ist anzunehmen, daß die meisten Abnehmer in der Lage sein werden, sich den geringen Schwankungen anzuschmiegen, welche mit Rücksicht auf die Wasserverhältnisse bei einer vollen Ausnutzung der vorhandenen Wassermassen und des gebotenen Staubeckens dem Betriebe auferlegt werden müssen, um einen möglichst geringen mittleren Preis für die Entnahme der Energie zu zahlen. Bei einer mittleren jährlichen Abnahme von 1000 PS. würde also der Abnehmer in dem nassen halben Jahre 1200 PS. und in dem trockenen halben Jahre 800 PS. erhalten können. Die Einheitspreise, welche hiernach für das nasse und für das trockene halbe Jahr zu berechnen sind, werden etwas von einander abweichen, wie dies nachfolgend genauer begründet ist.

Sollte jemand das ganze Jahr hindurch eine gleichmäßige Abgabe wünschen, wie dies allerdings bei einzelnen Betrieben wahrscheinlich ist, so würde ein solcher Abnehmer denjenigen Einheitspreis zu zahlen haben, der sich für die ungünstigste Ausnutzung des Sammelbeckens, d. h. also für die geringere Leistung in dem trockenen halben Jahre aus der Berechnung ergibt. Wünscht ein Abnehmer, daß die mittlere Energieabgabe, welche den genannten Schwankungen von 20 v. H. weniger im trockenen halben Jahre und 20 v. H. mehr im nassen halben Jahre unterworfen ist, zeitweilig auf das Doppelte oder wohl gar auf das Dreifache erhöht wird, um zu andern Zeiten entsprechend unter das Mittel der Abgabe zu sinken, so werden hierdurch natürlich größere Kosten für die hydraulischen Motore und für die elektrische Anlage erwachsen, die durch genaue Berechnungen nachstehend festgestellt werden sollen. Indessen ergibt sich, daß diese Vergrößerung der Kosten nicht in sehr ungünstigem Verhältnisse stattzufinden braucht gegenüber dem großen Nutzen, den der betreffende Abnehmer dadurch gewinnt, daß er große Reserven, welche für große Leistung kürzerer Zeitdauer sonst von ihm zu stellen wären, nicht zu schaffen braucht.

Kostenberechnungen[1]).

Als Grundlage für die nachfolgenden Berechnungen ist zunächst angenommen, daß die Gesamtanlage ohne den elektrischen Teil für die Kraftzentrale bei Heimbach bei 6000 Pferdekräften mittlerer jährlicher Leistung an 7200 Arbeitsstunden im Jahre 5 500 000 M. kostet oder daß auf eine mittlere Leistung, Tag und Nacht gerechnet, von 1000 hydraulischen Pferdekräften in der Kraftstation bei Heimbach ein Anlagekapital von rund 920000 M. kommt.

Andrerseits ist zur Vorsicht angenommen, daß für die elektrische Anlage einschließlich der Turbinen bei einer Entfernung von 20 km für die elektrische Übertragung ein Kostenaufwand von 300 Mk. pro Nutzpferdekraft der Kraftzentrale erforderlich ist.

Die nachstehenden Kostenberechnungen gelten zunächst für eine elektrische Übertragung auf 20 km Entfernung und sind unter der Voraussetzung gemacht, daß der Abnehmer die angemeldete Energie voll ausnutzt oder wenigstens voll bezahlt, bezw. daß er auf das ganze Jahr nach dem zugehörigen Einheitspreise wenigstens den Teil der Energie abnimmt und bezahlt, welcher in dem halben Jahre mit der Trockenperiode ihm sicher

1) s. Abb. 202 u. 203.

zur Verfügung gestellt werden kann. Für je 1000 Pferdekräfte mittlerer Jahresleistung würde diese zuzusichernde Minimalleistung im trocknen halben Jahre 800 Pferdekräfte im Mittel betragen, während sie im nassen halben Jahre auf 1200 Pferdekräfte steigen kann.

I.

Sollen bei der angegebenen mittleren Leistung von 1000 Pferdekräften weitergehende Schwankungen in der Energieabgabe nicht erfolgen, so würde die Anlage in der Kraftzentrale für 1000 Pferdekräfte mittlere Leistung des ganzen Jahres auf 1200 Pferdekräfte in der nassen Periode einzurichten sein.

Die jährlichen Kosten für 1000 Pferdekräfte mittlere Leistung würden sich wie folgt ergeben:

a) Für Tag- und Nachtbetrieb.

	Mk. im Jahr
1. Von den Baukosten der hydraulischen Anlage mit 920000 Mk. sind jährlich 5 v. H. für Verzinsung und Tilgung des Anlagekapitals zu berechnen, also	46 000
2. Für die Kosten der elektrischen Energie bei 1200 Pferdekräften Maximalleistung in der nassen Zeit ist ein Kapital von 1200 · 300 = 360 000 Mk. erforderlich, wofür zur Unterhaltung, Bedienung, Verzinsung und Tilgung des Anlagekapitals eine jährliche Ausgabe von 10 v. H. gerechnet werden soll, also ein Betrag von	36 000
3. Von den Kosten zur Unterhaltung, Bedienung und Verwaltung der baulichen Anlagen (ohne den elektrischen Teil) sind auf 1000 Pferdekräfte mittlere Leistung in der Kraftstation zu rechnen rund . . .	10 000
4. Für einen etwaigen Erneuerungsfonds, für Steuern, Versicherung, für den besonderen Nutzen der Gesellschaft und etwaige verstärkte Tilgung des Anlagekapitals ist auf 1000 Pferdekräfte mittlere Leistung ein Betrag in Aussicht genommen von zur Abrundung	78 000
in Summa Mk.	170 000

oder für jedes Halbjahr ein Betrag von 85 000 Mk.

Im nassen halben Jahre beträgt die Leistung im Mittel an 3600 Arbeitsstunden 1200 Pferdekräfte in der Kraftzentrale oder nach der vorteilhaftesten Übertragung der elektrischen Energie an dem rund 20 km entfernten Verwendungsorte bei etwa 83 v. H. Nutzwirkung für die elektrische Übertragung 1200 · 0,83 · 3600 = rund 3586000 Pferdekraftstunden; mithin entfallen am Verwendungsorte auf eine Pferdekraftstunde im nassen halben Jahre $\frac{85\,000 \cdot 100}{3586000}$ 2,37 Pfg. oder für 1 Kilowattstunde $\frac{2{,}37}{0{,}736} = 3{,}22$ Pfg.

Im trockenen halben Jahre ist die Leistung an der Kraftzentrale in 3600 Arbeitsstunden im Mittel 800 Pferdekräfte oder am Verwendungsorte 800 · 0,83 · 3600 = 2390000 Pferdekraftstunden. Mithin kostet am Verwendungsorte eine Pferdekraftstunde im trocknen halben Jahre $\frac{85\,000 \cdot 100}{2390000} = 3.56$ Pfg. oder 1 Kilowattstunde $\frac{3.56}{0{,}736} = 4{,}84$ Pfg.

b) Tagesbetrieb.

Wird die Kraftabgabe nur an 12 Stunden eines Tages gewünscht, so würde man in der Kraftzentrale die doppelte Leistung in Pferdekräften für die Tageszeit erhalten; mithin entfällt dann auf 1000 PS. in der Kraftzentrale nur ein Kapitalbetrag für die Wasserkraft-

anlage von $\frac{920\,000}{2} = 460\,000$ Mk., während für die elektrische Anlage bei der im nassen halben Jahre an je 12 Stunden täglich auszuführenden Leistung von 1200 Pferdekräften die Kosten der elektrischen Anlage, wie vorhin, verbleiben mit 360 000 Mk.

Die jährlichen Kosten berechnen sich daher für diesen Fall wie folgt: Mk. im Jahr

1. Verzinsung und Tilgung des Baukapitals von 460 000 Mk. mit 5 v. H. 23 000
2. Unterhaltung, Bedienung, Verwaltung der elektrischen Energie von 360 000 Mk. Kosten mit 10 v. H. 36 000
3. Unterhaltung, Bedienung und Verwaltung der Bauanlagen für 1000 Pferdekräfte wegen der größeren Zahl der erforderlichen Motoren und der Vergrößerung der Bauanlagen in der Kraftzentrale von $\frac{10\,000}{2}$ zur Vorsicht vergrößert auf 6 000
4. Für einen etwaigen Erneuerungsfonds, für Steuern, Versicherung, für den besonderen Nutzen der Gesellschaft und etwaige stärkere Tilgung des Anlagekapitals ist, entsprechend der vorhergegangenen Berechnung, für 1000 Pferdekräfte Tagesleistung ein Betrag in Ansatz zu bringen von 39 000

In Summa Jahreskosten Mk. 104 000

oder für jedes Halbjahr 52 000 Mk.

Im nassen halben Jahre kommen auf die Nutzleistung am Verwendungsorte von $\frac{3\,586\,000}{2}$ = rund 1 800 000 Pferdekraftstunden Ausgaben im Betrage von 52 000 Mk. oder für 1 Pferdekraftstunde am Verwendungsorte von $\frac{52\,000 \cdot 100}{1\,800\,000} = 2{,}89$ Pfg., bezw. für 1 Kilowattstunde am Verwendungsorte von $\frac{2{,}89}{0{,}736} = 3{,}93$ Pfg.

Im trockenen halben Jahre beträgt die Leistung am Verwendungsorte $\frac{2\,390\,000}{2} =$ 1 200 000 Pferdekraftstunden bei 52 000 Mk. Kosten im Halbjahre.

Mithin kostet am Verwendungsorte 1 Pferdekraftstunde $\frac{52\,000 \cdot 100}{1\,200\,000} = 4{,}33$ Pfg. oder eine Kilowattstunde am Verwendungsorte $\frac{4{,}33}{0{,}736} = 5{,}90$ Pfg.

II.

Wird seitens des Abnehmers gewünscht, daß die mittlere Leistung von 1000 Pferdekräften während des ganzen Jahres, welche wiederum im nassen halben Jahre auf 1 200 Pferdekräfte zu steigern und im trockenen halben Jahre auf 800 Pferdekräfte im Mittel zu vermindern ist, zeitweilig auf 2000 Pferdekräfte während einzelner Zeitabschnitte gesteigert werden soll, so berechnen sich die Kosten für die Pferdekraftstunde bezw. Kilowattstunde wie folgt:

a) Tag- und Nachtbrieb.

Mk. im Jahr

1. Die Baukosten der Wasserkraftanlagen für 1000 Pferdekräfte mittlere Leistung im Jahre betragen 920 000 Mk., mithin für Zinsen und Tilgung 5 v. H. im Jahr = ... 46 000
2. Die elektrische Anlage ist für die zeitweilig gewünschte Steigerung bis

	Mk.
Übertrag	46 000
zu 2000 Pferdekräften in der Kraftzentrale einzurichten und erfordert daher einen Kostenaufwand von 2000 · 300 = 600 000 Mk., mithin eine Jahresausgabe von 10 v. H. dieser Summe = ...	60 000
3. Die Unterhaltung, Bedienung und Verwaltung der Bauanlagen erfordert für 1000 Pferdekräfte mittlere Leistung im Jahre einen Kostenaufwand von	10 000
4. Für einen etwaigen Erneuerungsfonds, für Steuern, Versicherung, für den besonderen Nutzen der Gesellschaft und etwaige verstärkte Tilgung des Anlagekapitals sowie zur Abrundung	80 000
Zusammen Jahresausgabe: Mk.	196 000

oder für das Halbjahr 98 000 Mk.

Im nassen halben Jahre beträgt an dem 20 km entfernt gelegenen Verwendungsorte die verbleibende Nutzleistung wie früher 3 586 000 Pferdekraftstunden; mithin kostet am Verwendungsorte eine Pferdekraftstunde $\frac{98\,000 \cdot 1000}{3\,586\,000} = 2{,}74$ Pfg. oder für 1 Kilowattstunde 3,73 Pfg.

Im trockenen halben Jahre ist die verbleibende Leistung am Verwendungsorte 2 390000 Pferdekraftstunden; mithin kostet am Verwendungsorte eine Pferdekraftstunde $\frac{98\,000 \cdot 100}{2\,390\,000} = 4{,}10$ Pfg. oder 1 Kilowattstunde 5,57 Pfg.

b) Tagesbetrieb.

	Mk. im Jahr
1. Die Jahreskosten für 1000 Pferdekräfte an 12 Stunden im Tage betragen für die Bauanlage von 460000 Mk., für Verzinsung und Tilgung 5 v. H.	23 000
2. Die Kosten für Unterhaltung, Bedienung, Verzinsung und Tilgung der elektrischen Einrichtungen bei 2000 Pferdekräften Maximalleistung erfordern für 600000 Mk. Anlagekapital eine Jahresausgabe von 10v.H. mit	60 000
3. Die Unterhaltung, Bedienung und Verwaltung der Bauanlagen erfordert	6 000
4. Für einen etwaigen Erneuerungsfonds, für Steuern,, Versicherung, für den besonderen Nutzen der Gesellschaft und etwaige verstärkte Tilgung des Anlagekapitals sowie zur Abrundung	39 000
In Summa Jahreskosten Mk.	128 000

oder Kosten für das Halbjahr = 64 000 Mk.

Im nassen halben Jahre erhält man daher für eine Leistung von 1 800 000 Pferdekraftstunden am Verwendungsorte einen Preis von $\frac{64\,000 \cdot 100}{1\,800\,000} = 3{,}56$ Pfg. für 1 Pferdekraftstunde oder von 4,84 Pfg. für 1 Kilowattstunde am Verwendungsorte.

Im trockenen halben Jahre beträgt für 1 200 000 Pferdekraftstunden Leistung am Verwendungsorte der Einheitspreis $\frac{64\,000 \cdot 100}{1\,200\,000} = 5{,}33$ Pfg. oder für 1 Kilowattstunde am Verwendungsorte 7,24 Pfg.

III.

Wird seitens des Abnehmers gewünscht, daß die mittlere Leistung von 1000 Pferdekräften während des ganzen Jahres, welche wiederum im nassen halben Jahre auf 1200 Pferdekräfte zu steigern und im trockenen halben Jahre auf 800 Pferdekräfte im

Mittel zu vermindern ist, zeitweilig auf 3000 Pferdekräfte während einzelner Zeitabschnitte gesteigert werden soll, so ist die elektrische Anlage für die zeitweilig gewünschte Steigerung bis zu 3000 Pferdekräften in der Kraftzentrale einzurichten, und es berechnen sich die Kosten für die Pferdekraftstunde bzw. für die Kilowattstunde in entsprechender Weise wie folgt.

a) Tag- und Nachtbetrieb.

Im nassen halben Jahre beträgt an dem 20 km entfernt gelegenen Verwendungsorte die verbleibende Nutzleistung wie früher 3 586000 Pferdekraftstunden; es kostet am Verwendungsorte eine Pferdekraftstunde 3,15 Pfg. oder 1 Kilowattstunde am Verwendungsorte 4,28 Pfg.

Im trockenen halben Jahre ist die verbleibende Leistung am Verwendungsorte 2390000 Pferdekraftstunden; es kostet am Verwendungsorte 1 Pferdekraftstunde 4,73 Pfg. oder 1 Kilowattstunde am Verwendungsorte 6,43 Pfg.

b) Tagesbetrieb.

Im nassen halben Jahre erhält man für eine Leistung von 1800000 Pferdekraftstunden am Verwendungsorte einen Einheitspreis von 4,39 Pfg. für 1 Pferdestunde oder für 1 Kilowattstunde am Verwendungsorte 5,97 Pfg.

Im trockenen halben Jahre beträgt für 1 200000 Pferdekraftstunden am Verwendungsorte der Einheitspreis für 1 Pferdekraftstunde 6,58 Pfg. oder für 1 Kilowattstunde 9,00 Pfg.

IV.

Berechnung der Mehrkosten für die elektrische Übertragung auf 10 km Mehrlänge der Hochspannungsfreileitung.

Die Anlagekosten für die Hochspannungsfreileitung betragen, für 10 km Länge und für eine Nutzpferdekraft in der Kraftzentrale berechnet, 20 Mk.; mithin hat man bei 10 v. H. Kosten für Verzinsung und Tilgung des Anlagekapitals sowie für Unterhaltung und Bedienung für eine Nutzpferdekraft in der Kraftzentrale bei 10 km Mehrlänge der Freileitung jährlich 2 Mk. zu berechnen.

Für eine Nutzpferdekraft an der Verwendungsstelle würde man hiernach für 10 km Mehrlänge der Hochspannungsfreileitung bei rund 80 v. H. Nutzleistung der elektrischen Übertragung jährlich 2,50 Mk. in Ansatz zu bringen haben.

Die Mehrkosten für die Pferdekraftstunde bzw. für die Kilowattstunde am Verwendungsorte würden sich hiernach für 10 km Mehrlänge der Freileitung wie folgt berechnen.

a) Tag- und Nachtbetrieb.

Für 7200 Pferdekraftstunden im Jahre und für 250 Pfg. Mehrkosten für jede Nutzpferdekraft stellt sich der Mehrbetrag für 1 Pferdekraftstunde auf $\frac{250}{7200} = 0{,}035$ Pfg. oder für die Kilowattstunde auf 0,047 Pfg.

Berücksichtigt man hierbei, daß für 10 km Mehrlänge der Hochspannungsfreileitung ein Energieverlust von etwa $1^1/_2$ v. H. eintreten wird, so würde man an Mehrkosten $\left(\frac{100 + 1{,}5}{100}\right) \cdot 0{,}047 = 0{,}048$ oder abgerundet 0,05 Pfg für die Kilowattstunde der geforderten maximalen Leistung für je 10 km Mehrlänge der Hochspannungsfreileitung in Ansatz zu bringen haben.

b) Tagesbetrieb.

Für 3600 Pferdekraftstunden jährlich würden im Vergleich zu der vorstehenden Berechnung die Mehrkosten einer Kilowattstunde für je 100 km Mehrlänge der Hochspan-

nungsfreileitung auf das Doppelte wie bei Tag- und Nachtbetrieb, also auf $2 \cdot 0{,}05 = 0{,}10$ Pfg. für 1 Kilowattstunde zu stehen kommen.

V.

Kostenberechnung für die Abgabe der elektrischen Energie aus einem Drehstromgenerator der Kraftzentrale bei Heimbach.

Sei wiederum die durchschnittliche Jahresleistung von 1000 Pferdekräften in der Kraftzentrale mit den Schwankungen von 1200 Pferdekräften für das nasse halbe Jahr und 800 Pferdekräften für das trockene halbe Jahr zu Grunde gelegt, so sind die Turbinenanlage und der zugehörige Drehstromgenerator mit Rücksicht auf das nasse halbe Jahr für 1200 Pferdekräfte in Rechnung zu stellen.

a) Tag- und Nachtbetrieb.

	Mk. im Jahr
1. Die auf 1000 Pferdekräfte mittlere Jahresleistung entfallenden Baukosten der Wasserkraftanlage betragen für die Wasserkraftzentrale in Heimbach 920 000 Mk., die hiervon zu berechnenden jährlichen Kosten mithin bei 5 v. H. für Verzinsung und Tilgung	46 000
2. Die Kosten für die Turbinen- und Drehstromgeneratoranlage bei 1000 Pferdekräften mittlerer Jahresleistung ergeben sich:	
für die Turbine mit . . . . . Mk. 15 000	
für den Drehstromgenerator mit . . . . . » 25 000	
für die Schaltanlage und besondere Nebeneinrichtungen sowie zur Abrundung mit . . . . . » 10 000	
Zusammen mithin Mk. 50 000	
Hiervon für Verzinsung, Tilgung, Unterhaltung und Bedienung zur Vorsicht 10 v. H. jährlich gerechnet, ergibt	5 000
3. Für die Unterhaltung und Bedienung der Bauanlage ist nach den früheren Aufstellungen für 1000 Pferdekräfte mittlere Leistung in der Kraftzentrale jährlich zu rechnen	10 000
4. Für einen etwaigen Erneuerungsfonds, für Steuern, Versicherung, für den besonderen Nutzen der Gesellschaft und etwaige verstärkte Tilgung des Anlagekapitals sowie zur Abrundung	79 000
Zusammen Jahresausgabe Mk. 140 000	

oder für ein Halbjahr = 70 000 Mk.

Im nassen halben Jahre erhält man daher für 1200 Pferdekräfte Nutzleistung an der Turbinenwelle in der Kraftzentrale oder für $1200 \cdot 0{,}93 = 1116$ Pferdekräfte Nutzleistung am Drehstromgenerator bei $1116 \cdot 3600 = 4018000$ Pferdekraftstunden im Halbjahre den Einheitspreis von $\frac{70\,000 \cdot 100}{4\,018\,000} = 1{,}74$ Pfg, für 1 Pferdekraftstunde, oder für 1 Kilowattstunde $\frac{1{,}74}{0{,}736} = 2{,}36$ Pfg.

Im trockenen halben Jahre sind an der Turbinenwelle im Mittel 800 Pferdekräfte an 3600 Arbeitsstunden verfügbar, oder am Drehstromgenerator $800 \cdot 0{,}93 \cdot 3600 = 2\,680\,000$ Pferdekraftstunden; mithin kostet für diese Zeit eine Pferdekraftstunde $\frac{70\,000 \cdot 100}{2\,680\,000} = 2{,}61$ Pfg., oder 1 Kilowattstunde $\frac{2{,}61}{0{,}736} = 3{,}56$ Pfg., entnommen am Drehstromgenerator bzw. am Schaltbrett in der Kraftstation bei Heimbach.

b) Tagesbetrieb.

	Mk. im Jahr
1. Für die Baukosten der Wasserkraftanlage ist für je 1000 Pferdekräfte mittlere Jahresleistung ein Anlagekapital von Mk. 460000 in Rechnung zu stellen, mithin für Verzinsung und Tilgung bei 5 v. H. jährlich ein Jahresbetrag erforderlich von	23 000
2. Für die Anlagekosten der Turbinen und des Drehstromgenerators mit Schaltbrett usw. ist die Summe von Mk. 50000 erforderlich, wofür eine Jahresausgabe von 10 v. H. zu rechnen ist mit	5 000
3. Für Unterhaltung, Bedienung und Verwaltung der Bauanlage entfällt auf je 1000 Pferdekräfte beim Tagesbetrieb eine Ausgabe von . . .	6 000
4. Für einen etwaigen Erneuerungsfonds, für Steuern, Versicherung, für den besonderen Nutzen der Gesellschaft und etwaige verstärkte Tilgung des Anlagekapitals sowie zur Abrundung	40 000
Zusammen Jahresausgabe	Mk. 74 000

oder für ein Halbjahr = Mk. 37 000.

Im nassen halben Jahre erhält man für die Jahresleistung von 2009000 Pferdekraftstunden den Einheitspreis von $\frac{37\,000 \cdot 100}{2\,009\,000} = 1{,}84$ Pfg. für 1 Pferdekraftstunde, oder $\frac{1{,}84}{0{.}736} = 2{,}50$ Pfg. für 1 Kilowattstunde, für Entnahme der Energie am Schaltbrett in der Kraftstation Heimbach.

Im trockenen halben Jahre beträgt die Nutzleistung 1340000 Pferdekraftstunden; mithin kostet dann eine Pferdekraftstunde $\frac{37\,000 \cdot 100}{1\,340\,000} = 2{,}76$, oder 1 Kilowattstunde $\frac{2{,}76}{0{.}736} = 3{,}75$ Pfg., ebenfalls am Drehstromgenerator in der Kraftzentrale gemessen.

VI.

Für eine durchschnittliche Leistung von 1000 Pferdekräften des Jahres bei 1200 Pferdekräften im nassen halben Jahre und 800 Pferdekräften in trockenen halben Jahre mag nun die zeitweilig geforderte Maximalleistung 2000 Pferdekräfte betragen. Die Turbinen und die elektrische Anlage sind für die Maximalleistung von 2000 Pferdekräften einzurichten.

a) Tag- und Nachtbetrieb.

Im nassen halben Jahre für die Leistung von 4018000 Pferdekraftstunden ergibt sich der Einheitspreis zu 1,82 Pfg. für 1 Pferdekraftstunde, oder 2,47 Pfg. für 1 Kilowattstunde.

Im trockenen halben Jahre erhält man für 2680000 Pferdekraftstunden Nutzleistung als Einheitspreis $\frac{73\,000 \cdot 100}{2\,680\,000} = 2{,}72$ Pfg. für 1 Pferdekraftstunde oder 3,70 Pfg. für 1 Kilowattstunde, gemessen am Schaltbrett der Kraftzentrale.

b) Tagesbetrieb.

Im nassen halben Jahre erhält man für die Nutzleistung von 2009000 Pferdekraftstunden den Einheitspreis von 1,94 Pfg. für 1 Pferdekraftstunde, oder 2,64 Pfg. für 1 Kilowattstunde.

Im trockenen halben Jahre ergibt sich für eine Nutzleistung von 1340000 Pferdekraftstunden der Einheitspreis von 2,91 Pfg. für 1 Pferdekraftstunde oder 3,96 Pfg. für 1 Kilowattstunde, gemessen am Schaltbrett in der Kraftzentrale bei Heimbach.

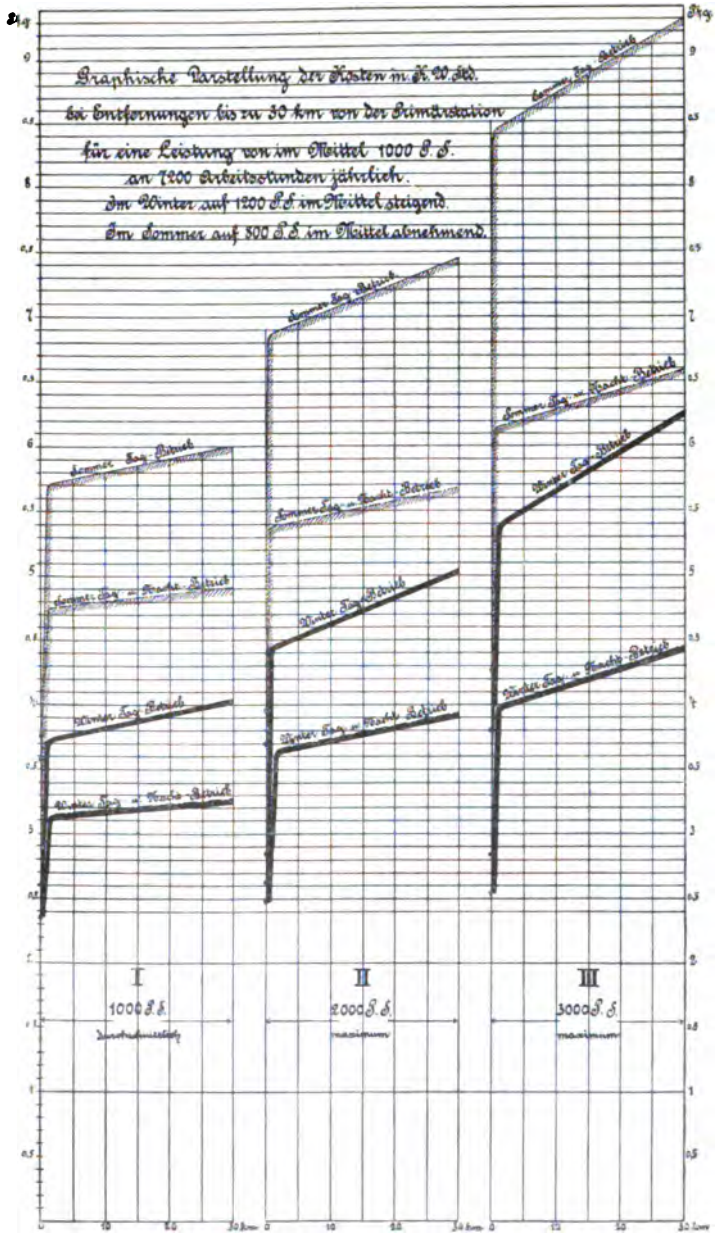


Abb. 222. Darstellung der Selbstkostenpreise für die Kraftabgabe aus der Heimbacher Zentrale an der Urfttalsperre, bezogen auf 1 Kilowattstunde und abgestuft nach Kraftleistungen und Betriebszeiten.

VII.

Für eine durchschnittliche Leistung von 1000 Pferdekraftstunden während des Jahres bei 1200 Pferdekräften im nassen halben Jahre und 800 Pferdekräften im trockenen halben Jahre mag nun die zeitweilig geforderte Maximalleistung 3000 Pferdekräfte betragen. Dann stellen sich die Kosten hierfür wie folgt heraus:

Die Turbinen und die elektrische Anlage sind für die Maximalleistung von 3000 Pferdekräften einzurichten.

a) Tag- und Nachtbetrieb.

In dem nassen halben Jahre hat man für 4018000 Pferdekraftstunden einen Einheitspreis von 1,87 Pfg. für 1 Pferdekraftstunde oder 2,54 Pfg. für 1 Kilowattstunde.

Im trockenen halben Jahre ergibt sich für die Nutzleistung von 2680000 Pferdekraftstunden der Einheitspreis zu 2,80 Pfg. für 1 Pferdekraftstunde oder 3,81 Pfg. für 1 Kilowattstunde, gemessen am Schaltbrett der Kraftstation bei Heimbach.

b) Tagesbetrieb.

Im nassen halben Jahre findet man für eine Nutzleistung von 2009000 Pferdekraftstunden als Einheitspreis 2,09 Pfg. für 1 Pferdekraftstunde oder 2,81 Pfg. für 1 Kilowattstunde.

Im trockenen halben Jahre ergibt sich für eine Nutzleistung von 1340000 Pferdekraftstunden der Preis von 3,13 Pfg. für 1 Pferdekraftstunde oder 4,26 Pfg. für 1 Kilowattstunde, gemessen am Schaltbrett der Kraftzentrale in Heimbach.

Die Ergebnisse der vorstehenden Aufrechnungen sind in Abb. 222 dargestellt.

Abschätzung des Kapitalwertes einer Wasserkraft.

Es sei der Kapitalwert einer durch die wasserbaulichen Anlagen einschließlich des Unterbaues des Kraftwerkes, aber mit Ausnahme der Turbinen ausgebauten Nutzpferdekraft zu 2000 Mk. für die Leistung bei Niedrigwasser angenommen und es soll untersucht werden, ob dieser Preis angemessen ist, um den Betrieb des Werkes wettbewerbfähig mit einer Dampfkraftanlage zu gestalten. Die Nutzbarmachung der Wasserkraft würde bedingen, daß außer den vorgesehenen hydraulischen Anlagen noch der Oberbau des Turbinengebäudes ausgeführt wird, die Turbinen (Kraftmaschinen) und die eigentlichen Arbeitsmaschinen aufgestellt werden. Für die Verwertung der Wasserkraft seien bestimmte Unterlagen noch nicht vorhanden. Die Arbeitsmaschinen können einem gewerblichen Betriebe irgend welcher Art dienen, der in einem Gebäude in unmittelbarem Zusammenhange mit dem Turbinengebäude errichtet wird. Dabei kann die Übertragung von den Arbeitsmaschinen durch Seil oder Wellenantrieb eingerichtet gedacht werden. Es könnte aber auch die Umsetzung der Wasserkraft in elektrische Kraft erfolgen, sei es für Benutzung am Ort der Erzeugung in elektrochemischen Gewerben oder in elektrischen Licht- und Kraftbetrieben. Diese unmittelbare Verwertung der Wasserkraft am Gewinnungsort oder in der Nähe desselben — ohne Fernleitung — soll hier angenommen werden. Man wird für beide der vorstehend erörterten Nutzungsarten rechnen können, daß von der Nutzpferdekraft an der Turbinenwelle nach Umsetzung in den Arbeitsmaschinen 90 v. H. verfügbar sind.

Den notwendigen Kostenaufwand für den Ausbau des Kraftgebäudes, für den Einbau der Turbinen, die elektrische oder anderweitige Einrichtung für Verwertung der Kraft, ohne die Arbeitsmaschinen mit zugehörigen Gebäuden und gewerblichen Vorrichtungen wird man bei einer Gesamtkraft von 1500 PS. zu 250 Mk. für 1 PS. schätzen können.

Die Kosten für 0,9 nutzbare Jahrespferdekraft an der Welle der Betriebsmaschine stellen sich hiernach, wie folgt:

1. 4 v. H. für Verzinsung von 2000 Mk. = ... Mk. 80
   Bemerkt wird, daß man vom kaufmännischen Standpunkt nicht nur die Verzinsung dieses Kapitals in Ansatz zu bringen hätte, sondern auch die Kosten für die Unterhaltung der durch den Kapitalswert (2000 Mk.) dargestellten Bauanlagen und die Beträge für Tilgung und Erneuerung. Man wird hierfür einschließlich Zinsen 6 v. H. des Anlagekapitals rechnen können und würde dann als Grundpreis $\frac{2000 \cdot 6}{100} = 120$ Mk. gegenüber obigen 80 Mk. erhalten.
2. Zinsen, Tilgung, Unterhaltung und Betrieb des für die gewerbliche Anlage aufgewandten Kapitals 12 v. H. von 250 Mk. 30

Kosten für 0,9 PS. im Jahr 110

Mithin für 1 PS. im Jahr 122

Wenn in Übereinstimmung mit der üblichen Gestaltung der Arbeitszeit in gewerblichen Betrieben angenommen wird, daß die Ausnutzung der Wasserkraft nur an 300 Tagen, während 10 Stunden vorhanden ist, so würde 1 PS.-Stunde an der Arbeitswelle $\frac{12\,200}{3000} =$ 4,1 Pfg. kosten. Es sei zum Vergleich bemerkt, daß nach statistischen Aufstellungen die Gesamtkosten des Dampfmaschinenbetriebes (Betriebskosten, Zinsen und Tilgung) bei Einzylinder-Kondensationsmaschinen bis 30 PS. Stärke 4,22 Pfg. für 1 PS.-Stunde und bei Verbundmaschinen mit Kondensationen bis 50 PS. 3,16 Pfg. für 1 PS.-Stunde betragen. Bei kleineren Dampfmaschinen bis herab zu 5 PS. steigen diese Kosten bis auf 8,21 Pfg. für 1 PS.-Stunde. Eine Wasserkraft von einem Kapitalswert von 2000 PS. für die, wie oben angegeben, ausgebaute Pferdestärke würde demnach mit großen Dampfmaschinen nicht mehr wettbewerbfähig sein, wohl aber mit der elektrischen Kleinverteilung, die weit höhere Preise als die angeführten erzielt. Zu beachten ist aber, daß der Berechnung der Wasserkraft nur das Niedrigwasser zugrunde gelegt ist. Wesentlich günstiger werden sich die Preisverhältnisse gestalten, wenn auch die Nutzbarmachung der höhern Abflußmengen — etwa bis M. W. — und ihre Ausnutzung während 24 Stunden am Tage sich erreichen läßt.

Zum weiteren Vergleich mit den vorstehenden berechneten Preisen seien die Verhältnisse der mit der Talsperre der Stadt Nordhausen verbundenen Kraftanlage herangezogen, die bei einem nutzbaren Mindestgefälle von 170 m, Höchstgefälle 192 m 85 PS. an der Turbinenwelle bei Tag und Nacht als Mindestleistung leistet. Die Stadt Nordhausen hat hydraulische Anlagen einschl. des Kraftgebäudes ausgebaut und gibt die Wasserkraft als Rohkraft ab.

Der Betrieb ist verpachtet; die pachtende Firma hat die Turbinen aufgestellt und die elektrischen Einrichtungen auf eigene Kosten getroffen. Der vertragsmäßige Preis an der Turbinenwelle berechnet sich zu 3,5 PS. für die Pferdekraftstunde bis zur Abgabe von 425 000 PS. Stunden, darüber hinaus zu 2,9 Pf.[1]). Dabei ist allerdings zu beachten, daß die Pächterin bei Vertragsabschluß den unmittelbaren Absatz durch Vertrag mit der staatlichen Eisenbahnverwaltung sicher hatte. Dieser Umstand, d. h. ob ein wirtschaftlicher Bedarf nach Kraft vorhanden ist, wird immer von wesentlichem Einfluß auf die Preisgestaltung sein.

Die Annahme eines Kapitalwertes von 2000 Mk. für 1 Nutzpferdekraft erscheint so-

1) Über die Pachtverhältnisse s. S. 426.

mit — sofern auf den Absatz und die gute wirtschaftliche Verwertung der erschlossenen Wasserkraft gerechnet werden kann und unter Berücksichtigung des Umstandes, daß dieser Kapitalwert sich nur auf die Niedrigwasserleistung bezieht — berechtigt. Dieser Wert dürfte aber auch die obere Grenze bezeichnen.

Tarife und Betriebsergebnisse.

Die Arbeit des Ingenieurs lebt weiter in dem Werk, das er geschaffen hat. Sie ist nicht abgeschlossen mit der Fertigstellung eines Baues; sie setzt sich vielmehr fort in der Wirkung, welche die Ausnutzung der vollendeten Anlage auf die Allgemeinheit hat[1]). Man muß daher die Maßnahmen des Ingenieurs nach zwei Richtungen hin unterscheiden: in diejenigen, die den Entwurf und die Bauausführung betreffen, und in solche, die auf den Betrieb hinübergreifen. Man möchte die ersteren als die inneren Angelegenheiten eines Unternehmens bezeichnen.

Die späteren Maßnahmen des Betriebes — unter ihnen die wesentlichste die Tarifgestaltung — berühren stark die Öffentlichkeit; sie sprechen also nicht nur in der Frage der Rentabilität mit, sondern sie können in hohem Maße die gesamte wirtschaftliche Lage des Kreises, den die Fernleitungen einer Überlandzentrale überspannen, beeinflussen und die Wettbewerbfähigkeit der Gewerbetreibenden des Bezirkes auf dem Weltmarkte fördern oder schädigen.

Eine richtige Tarifgestaltung ist eine außerordentlich schwierige Sache, weil — wie dargetan — nicht nur Betriebsrücksichten und die geschäftliche Lage des Unternehmens, sondern auch allgemeine wirtschaftliche, sozialpolitische und — bei sehr großen Unternehmungen — auch staatswirtschaftliche Gesichtspunkte zu beachten sind.

Diese wirtschaftliche Seite der Ausnutzung der Wasserkräfte ist, da die großen Wasserkraftunternehmungen erst jüngsten Datums sind, neu und in der Entwicklung begriffen. Die Tarifausbildung der Wasserkraftwerke wird sicherlich noch Sache weiterer theoretischer Untersuchungen und praktischer Ergebnisse des Betriebes sein müssen.

Allgemein wird man als Grundsatz aufstellen dürfen, daß der Preis der elektrischen Kraft — am Gewinnungsort oder nach Fernübertragung — mindestens so tief unter den Kosten der Dampfkraft einer schon vorhandenen Anlage stehen muß, daß der Unterschied die Tilgung

1) Über die Notwendigkeit volkswirtschaftlicher und rechtswissenschaftlicher Bildung des Technikers. Berlin 1900, A. Seydel.

der etwa noch nicht abgeschriebenen Anlagekosten eines Dampfwerkes ermöglicht. Daher sind Wasserkraftwerke oft auf neuentstehende Industrien angewiesen, um Eingang zu finden.

In den hydroelektrischen Werken ergeben sich die Selbstkosten der Kraft fast allein aus den stehenden (mittelbaren, indirekten) Lasten (Zinsen, Tilgung usw.), während in den Dampfwerken die Selbstkosten sich zusammensetzen aus den mittelbaren und den verschiedenen Beträgen für Kohle, Wasser und Öl, Verluste und Zufälligkeiten. Daher sind in einem hydroelektrischen Werke die Kosten für die Pferdestärke fast gleichbleibend fürs Jahr, gleichgültig, ob die Kraft eine Stunde oder 20 Stunden am Tage in Anspruch genommen wird. Die Ausbesserungskosten sind fast die einzig schwankende Ausgabe und man kann annehmen, daß sie in gleichem Verhältnis mit dem Belastungsfaktor wachsen, während Bedienung, Ölverbrauch und Verlust beinahe die gleichen sind für kleine und volle Belastung. In einer Dampfanlage hingegen wachsen die Ausgaben für Kohle, Bedienung usw. schnell mit dem Belastungsfaktor und daher steigen die Kosten für 1 PS. in fast gleichem Verhältnis mit dem Belastungsfaktor[1]).

Wenn schon bei Dampfanlagen, so muß daher ganz besonders bei Wasserkraftwerken eine gleichmäßige Belastung der Maschinen im Tages- und Jahreslaufe erwünscht sein. Aber weiter wird das Bestreben hervortreten müssen, die trockene Zeit des Sommers im Elektrizitätswerkbetriebe möglichst zu entlasten. Es soll damit eine Anpassung an den ungleichen Wasserabfluß erzielt werden. Ein Tarif, der auf dieses Ziel hinausarbeitet, bringt die Eigenart des Betriebes einer Wasserkraftzentrale zum Ausdruck. Die Ermäßigungen, die Abnehmer, die in trockener Zeit auf Stromlieferung verzichten und das Werk nur in der nassen Jahreszeit beanspruchen, erhalten, wird man so bedeutend herabsetzen können und müssen, daß die Gewerbe diese Absicht in ihrem eignen Interesse wohl beachten dürften. Auch die Landwirtschaft mit ihrem Kraftbedarf im Winter für Dreschen usw., im Frühjahr für Pflügen u. a. wird sich danach wohl unschwer bis zu einem gewissen Grade richten können. Geschieht dies aber, so ist der Zweck des Tarifes erfüllt. Der Tarif wird also bemüht sein müssen, nicht nur einen günstigen Ausgleich der Beanspruchung des Werkes am Tage und am Abend zu

1) Eng. Rec. 3. 11. 06.

schaffen, sondern auch durch entsprechende Preisstellung die Interessen der landwirtschaftlichen und gewerblichen Tätigkeit mit dem wechselnden Kraftvorrat einer Wasserkraftzentrale in Einklang zu bringen. Ferner werden dauernde Abnehmer, wie elektrochemische Werke und sonstige Großabnehmer meist günstiger behandelt werden können und aus dem gleichen Grunde ist im allgemeinen der Kraftpreis — weil gleichmäßigerer Bedarf vorhanden ist — geringer als der Lichtpreis.

Bei Verpachtungen der staatlichen Wasserkräfte kann es in Betracht kommen, nicht eine feste Summe, etwa für 1 PS. im Jahre zu vereinbaren, sondern eine Abgabe für die nutzbar abgegebene Krafteinheit, z. B. 1 PS.-Stunde. Der Vorteil dieser Verrechnung beruht darin, daß ein Wagnis für die Abnehmer, als die im gegebenen Falle kleine Gemeinden in Betracht kommen können, vermieden wird und andrerseits zur Nutzbarmachung der Wasserkraft Interessenten allgemein mehr angeregt werden. Oft wird dieses Moment — zumal in der gegenwärtigen Zeit der Entwicklung unserer Wasserkraftwirtschaft — wohl zu beachten sein. Es wird sich bei unübersichtlichen Verhältnissen leichter eine Grundlage für die Verständigung finden lassen, wenn für die nutzbar abgegebene Kilowattstunde, bezogen auf den Rohwert der Wasserkraft, etwa 1 bis 2 Pfg. erhoben werden, als wenn von vornherein eine ansehnliche Pauschale als Pachtsumme gezahlt werden soll.

Heute ist im Einzelverkauf die Bezahlung nach der Kilowattstunde oder nach einer Pauschalsumme fast noch allgemein im Gebrauch. Doch hat die neuere Einsicht dahin geführt, zu erkennen, daß nicht nur der Verbrauch als solcher, sondern auch die Art des Verbrauches — mehr als bisher geschehen — von Einfluß auf die Preisgestaltung sein sollte. Diese Berücksichtigung der Verbrauchsart führt auf den Begriff des Belastungsfaktors, der dabei eine wesentliche Rolle spielt.

Die günstigste Belastung eines Werkes und die vollkommenste Ausnutzung einer Eisenbahn findet statt, wenn ununterbrochener 24stündiger Betrieb obwaltet[1]). Denn bei jeder Anlage werden — wie oben dargelegt — die Zinsen, Steuern, Versicherungsbeträge und andre stehende Beträge für die ganze Zeit des Jahres berechnet und werden nicht geringer, wenn auch zeitweise der Betrieb ruht. Die Selbstkosten werden daher für die Krafteinheit um so kleiner, je mehr die Anlage ausgenutzt wird.

1) Betrachtungen hierüber s. Bayr. Industrie- und Gewerbeblatt 1906, Heft 7 bis 11.

Die Grundlage eines solchen Tarifs muß nach Storer[1]) der allergrößte Bedarf bilden, der in Beziehung zu setzen ist mit dem Belastungsfaktor des Abnehmers. Der Belastungsfaktor eines Werkes ist das Verhältnis des tatsächlichen Verbrauchs zu dem theoretisch möglichen, d. h. höchsten Verbrauch, den die Anlage gestattet.

Hiernach hat Storer folgende Beziehungen abgeleitet.

Man wird als Grundpreis einen Preis K für 1 K.W.-Stunde setzen, der gezahlt werden muß, um die Selbstkosten + Verdienst = A bei vollem gleichmäßigen Bedarf während 24 Stunden an z. B. 300 Arbeitstagen zu decken. Dann ist $K = \frac{A}{300 \cdot 24}$. Nun wird es sich darum handeln, den voraussichtlichen Belastungsfaktor im Zentralwerke zu kennen. Hat dieser den Wert m, so werden im Jahr nutzbar abgegeben, wenn N die Anzahl der K.W. des Werkes (Maschinenleistung) ist, $N \cdot 365 \cdot 24 \cdot m$ Stunden. Diese nutzbaren Stunden multipliziert mit dem zu der Belastung m gehörigen Preis X, muß ebenfalls den Wert A geben. Zwischen K und X werden die Kosten abzustufen sein, je nach dem Belastungsfaktor des Abnehmers.

Der Belastungsfaktor des einzelnen Abnehmers berechnet sich in der Weise:

Man dividiert den Gesamtverbrauch eines Tages durch die ganze Anzahl der Tagesstunden (24). Dieser Mittelwert dividiert durch den größten Verbrauch des Tages gibt den Belastungsfaktor für den betreffenden Tag. In der gleichen Art kann der durchschnittliche Belastungsfaktor für einen Monat erhalten werden, indem man den durchschnittlichen Verbrauch für den ganzen Monat dividiert durch den größten täglichen Bedarf.

Es habe z. B. ein Verbraucher einen Vertrag abgeschlossen, 400 K.W.-Stunden als Höchstverbrauch am Tage für den Betrieb seines Werkes zu kaufen, und es mögen die Kosten für die Kilowattstunde zwischen 67 und 180 Mk. schwanken, je nach dem Belastungsfaktor. Die Ermittlung seines Betrages für die Kilowattstunde im Jahr — bezogen auf irgend einen Monat — erfolgt dann so:

Wenn die gesamten verbrauchten K.W.-Stunden des Abnehmers während eines Monats von 30 Tagen z. B. 43 200 sind, so ist der durch-

1) Eng. Record 3. 11. 06.

schnittliche Verbrauch im Werke $\frac{43\,200}{24 \cdot 30} = \frac{43\,000}{720} = 80$ KW.

Wenn nun der Höchstverbrauch dieses Abnehmers 400 K.W.-Stunden am Tage ist, so stellt sich der Belastungsfaktor dar durch den Bruch $\frac{80}{400} = 0{,}2$, d. h. 20 v. H. Der Unterschied zwischen 67 und 180 Mk. ist 113 Mk. Die Kosten des Jahreskilowatt für diesen Abnehmer bezogen auf diesen Monat sind daher: $67 + 113 \cdot 0{,}2 = 89{,}6$ Mk. Die Gesamtkosten für den Monat würden $\frac{400 \cdot 89{,}6}{12} = 2987$ Mk. sein. Die K.W.-Stunde kostet dem Abnehmer $\frac{2\,987}{43\,200} = 6{,}9$ Pf. Wenn aber z. B. der Belastungsfaktor 30 v. H. wäre, so würde das Jahreskilowatt $67 + 113 \cdot 0{,}3 = 100{,}9$ Mk. kosten. Der höchste Verbrauch würde dann $\frac{80}{0{,}3} = 266$ Stunden sein. Die Gesamtkosten für den Monat würden $\frac{100{,}9 \cdot 266}{12} = 2236{,}6$ Mk. sein und der Abnehmer würde für die K.W.-Stunde $\frac{2236{,}6}{43\,200} = 5{,}2$ Pfg., also etwa 25 v. H. weniger wie vorher zu zahlen haben.

Es kommt somit bei diesem Rechnungsverfahren der Einfluß der verschiedenartigen Inanspruchnahme des Werkes seitens eines Abnehmers zur Geltung. Daraus hat einerseits das Werk Vorteil, indem die gleichmäßige Belastung — wenn sie von allen Abnehmern geschieht — eine besser verteilte Belastung des Werkes insgesamt notwendig zur Folge haben muß, woraus sich ein günstiger Ertrag für das Kraftwerk ergibt. Andrerseits hat aber auch der Abnehmer Vorteil aus seiner gleichmäßigen Inanspruchnahme des Werkes durch billigere Preisgestaltung. Und diese wird in weiterer Folge ihn und alle Abnehmer allgemein beeinflussen im Sinne eines mehr geregelten Betriebes.

Diese Beziehungen lassen sich nach Storer in folgende Gleichung fassen:

$$R = A + m\,(B - A),$$

worin bedeutet:

R = die gesuchten Kosten für das Jahreskilowatt.

A = der Mindestbetrag des Jahreskilowatts.

B = der Höchstbetrag des Jahreskilowatts.

m = der Belastungsfaktor.

Es scheint, daß dieser Beitrag Storers zu der Frage der zweckmäßigsten Tarifgestaltung bei hydroelektrischen Werken der Beachtung wert ist. Es mögen daher als eine weitere Unterlage für derartige Betrachtungen noch 2 von ihm veröffentlichte graphische Darstellungen mitgeteilt werden[1]).

Die Abb. 223 ist eine graphische Darstellung der Selbstkosten für 1 PS. und Jahr im Verhältnis zum jeweiligen Belastungsfaktor des Werkes.

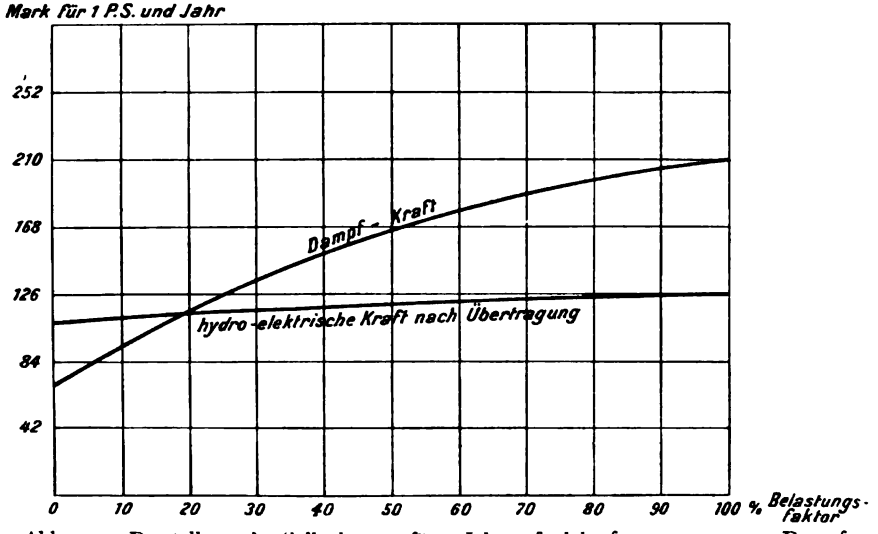


Abb. 223. Darstellung der Selbstkosten für 1 Jahrespferdekraft, gewonnen aus Dampf- und Wasserkraft, im Verhältnis zum Belastungsfaktor des Werkes.

Die Kurve für die hydroelektrische Anlage stellt die Kosten nach Übertragung auf kürzere Entfernung dar, die Kosten für die Dampfanlage beziehen sich auf das Schaltbrett als Abgabestelle. Die Kurven sind ermittelt für Anlagen von 5000 bis 10000 PS. und für einen Kohlenpreis von 10,5 bis 11,5 Mk. für 1 t.

In Abb. 224 sind die Kosten dargestellt bezogen auf den Belastungsfaktor des Abnehmers und den Preis für die Kilowattstunde. Wenn diese Preise sich auch auf amerikanische wirtschaftliche Verhältnisse gründen,

1) Weiteres hierüber s. Eng. Rec. 3. 11. 1906.

so ist doch immerhin der Verlauf der Kurven an sich von Interesse, die die starke Abnahme des Preises mit wachsender Belastung zeigen[1]).

Wegen der eingangs erwähnten volkswirtschaftlichen Bedeutung großer mechanischer Kraftquellen ist neuerdings die Aufsicht der Staatsbehörden über den Betrieb und die Preisgestaltung der Kraftwerke erkennbar. Dieses war im besonderen der Fall bei der Genehmigung der Kraftwerke am Rhein auf der badisch-schweizerischen

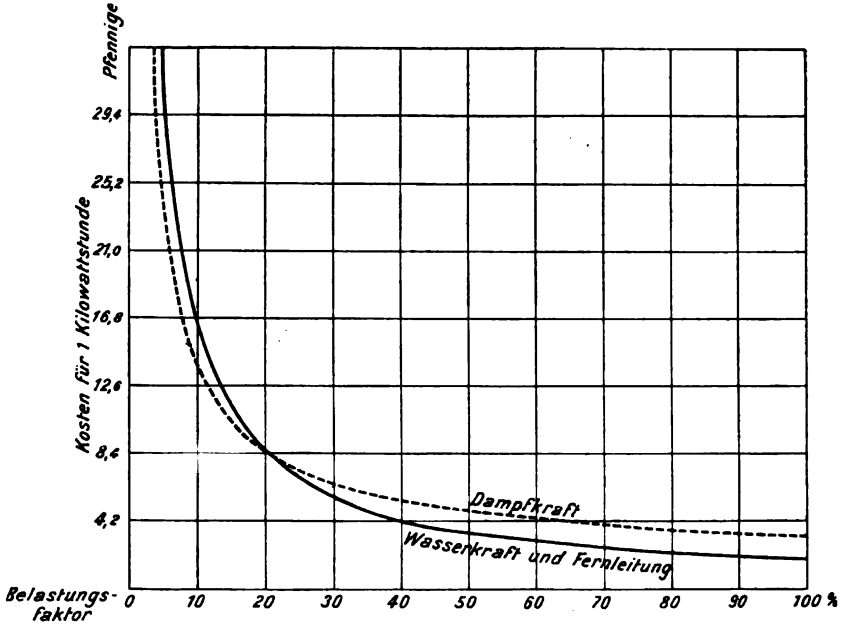


Abb. 224. Darstellung der Kosten für 1 Kilowattstunde, gewonnen aus Dampfkraft und aus Wasserkraft bei Fernleitung, in Beziehung gesetzt zum Belastungsfaktor des Abnehmers.

Strecke, wo sich der Staat eine Regelung des Tarifs und der Geschäftsführung vorbehalten hat, um eine wirtschaftlich zweckmäßige Behandlung aller Abnehmer sicher zu stellen. Näheres über diese sehr bemerkenswerten Erörterungen s. Beiträge zur Hydrographie des Großherzogtums Baden, Heft XII.

Es werden an dieser Stelle einige Mitteilungen über Tarife und

1) Betrachtungen über die Tarifgestaltung s. auch: Die wirtschaftliche Entwicklung der Elektrizitätswerke. Elektr. Zeitschr. 1907 S. 577.

Betriebsergebnisse von neueren Wasserkraft- und Talsperrenunternehmungen nicht ohne Interesse sein.

Von dem Talsperren-Kraftwerk der Stadt Solingen wird der elektrische Strom für Lichtzwecke zu dem Grundpreise von 45 Pfg. für eine Kilowattstunde bis zu einer Benutzungsdauer von 350 Stunden im Jahr abgegeben. Der ganze über 350 Stunden hinausgehende Verbrauch wird mit 25 Pfg. für eine Kilowattstunde vergütet. Der Grundpreis für Kraftstrom beträgt 18 Pfg./K.W.-Stunde bis zu einer Benutzungsdauer von 750 Stunden im Jahr. Der über 750 Stunden hinausgehende Verbrauch wird mit 8 Pfg. für 1 K.W.-Stunde bezahlt. Das Werk hat eine Leistungsfähigkeit von 450 Kilowatt. Die im Durchschnitt täglich an den Sammelschienen erzeugte Energie betrug im ersten Betriebsjahre 738, die größte tägliche Erzeugung 1785 Kilowattstunden. Die Stromlieferung erfolgt jederzeit, Tag und Nacht. Die elektrische Energie dient städtischen Zwecken wie den gewerblichen oder geschäftlichen Anlagen der regen Kleineisen- und Waffenindustrie der Stadt Solingen und gibt ein Bild von der segensreichen Ausnutzung, welche aus einer geordneten Wasserwirtschaft im Gebirge gewonnen werden kann.

Das im Winter des Jahres 1903 in Betrieb genommene städt. Elektrizitätswerk hat sich äußerst erfreulich entwickelt, so daß es bereits in den ersten Betriebsjahren nach reichlich bemessenen Abschreibungen und Tilgungen ansehnliche Reingewinne abzuwerfen in der Lage war, die sich, wie folgt, verteilen:

Jahr	Abschreibungen	Verzinsung	Reingewinn
1903	22273	16847	10558
1904	29014	29394	11728
1905	37410	45871	33709
1906	38873	44832	59902
1907	44464	46440	59412

Der Anschlußwert für Licht- und Kraftzwecke, bzw. die Anzahl der abgegebenen Kilowattstunden, steigerte sich in den einzelnen Jahren, wie folgt:

	Anschlußwert in Kilowatt			entsprechend einem Gleichwert	Abgegebene
Jahr	Licht	Kraft	Summe	von Glühl. zu 16 N. K.	Kilow. Std.
1903	359	209	568	10300	336583
1904	428	314	742	13560	720269
1905	475	503	978	17800	1389534
1906	559	706	1265	23000	1725676
1907	658	869	1527	27760	1924846

Die Betriebskosten für die erzeugte Kilowattstunde sind im Jahre 1906/07 auf 10,78 Pfg. zurückgegangen. Die Durchschnittsannahme betrug 17,50 Pfg. für die Kilowattstunde. Die gleichen Werte für das Jahr 1905/06 waren 12,61 und 17,78 Pf. Im Betriebsjahre 1907/08 ist wiederum eine kleine Steigerung der Selbstkosten auf 11,53 Pf. für 1 KW.-Stunde eingetreten, während die Durchschnittseinnahme sich auf 17,73 Pf. stellt.

Der Verbrauch der beiden Wupperturbinen bzw. der von der Talsperre gespeisten Hochdruckturbine an Betriebswasser betrug 112230000 bzw. 4375000 cbm d. h. 109 bzw. 12,78 cbm für die erzeugte Kilowattstunde. Es wurden somit 70,38 v. H. bzw. 23,41 v. H. der Gesamtdrehstromleistung von der Wupper bzw. von der Talsperre geliefert, während der Rest = 6,21 v. H. von dem in der Straßenbahnzentrale aufgestellten, von

einer der beiden alten Dampfmaschinen angetriebenen Synchronmotor gedeckt wurde. In der Straßenbahnzentrale wurde von den erzeugten Kilowattstunden 57,68 v. H. von der Wasserkraft und der Rest 42,32 v. H. von der Dampfkraft geliefert.

Über die Betriebsgestaltung ist folgendes zu bemerken:

Die volle Maschinenleistung (s. Abschnitt Deutschland) steht dem städt. Elektrizitätswerk nur dann zur Verfügung, wenn sowohl die Wupper als auch die Talsperre genügend Wasser, ohne bedeutenden Gefällverlust, mit sich führen und die gefüllte Talsperre ohne Bedenken energisch angezapft werden kann und wenn endlich die in Reserve stehende Maschine für Bahnzwecke nicht benötigt wird, vielmehr zur Unterstützung der Zentrale Glüder in der Stromlieferung mit herangezogen werden kann.

Tabelle 45. Gesamtleistung beider Zentralen des Elektrizitätswerkes der Stadt Solingen in den Betriebsjahren 1906/07 und 1907/08.

(Das Wasserkraftwerk ist seit 1904 mit einer Dampfzentrale vereinigt.)

	Monate	Erzeugte Kilowattstunden von der Zentrale			Gesamtleistung in Kilowattstunden	In Hundertsteln der erzeugten Energie		In Hundertsteln der erzeugten Energie	
		Glüder (Wasser)	Straßenbahn (Dampf) Gleichstrom	Straßenbahn (Dampf) Drehstrom		Wasser	Dampf	Drehstrom	Gleichstrom
1906/07.	April . .	93 442	20 712	—	114 154	81,86	18,14	81,86	18,14
	Mai . . .	117 185	6 796	—	123 981	94,52	5,48	94,52	5,48
	Juni . . .	107 356	11 293	—	118 649	90,48	9,52	90,48	9,52
	Juli . . .	62 121	48 237	836	111 194	55,87	44,13	56,62	43,38
	August . .	37 845	49 750	24 605	112 200	33,73	66,27	55,66	44,34
	September	33 338	46 728	37 092	117 158	28,45	71,55	60,12	39,88
	Oktober .	83 387	39 956	19 479	142 822	58,39	41,61	72,02	27,98
	November	113 318	27 877	8 615	149 810	75,64	24,36	81,39	18,61
	Dezember	185 398	7 430	147	192 975	96,07	3,93	96,15	3,85
	Januar . .	177 736	1 542	—	179 278	99,14	0,86	99,14	0,86
	Februar .	172 461	2 574	—	175 035	98,53	1,47	98,53	1,47
	März . .	188 420	—	—	188 420	100,00	—	100,00	—
Betriebsjahr	1906/07	1 372 007	262 895	90 774	1 725 676	79,51	20,49	84,77	15,23
	1907/08	1 307 722	453 338	163 786	1 924 846	67,94	32,06	76,45	23,55

Im Sommer wird zwar verhältnismäßig wenig Energie zu Lichtzwecken benötigt, dafür erreicht jedoch der Bedarf an Wasser seinen Höchstwert, so daß das zur Verfügung stehende Wupperwasser oft kaum hinreicht, das der Talsperre zur Versorgung des Stadtgebietes von Solingen entnommene Wasser in den auf der Krahenhöhe befindlichen Hochdruckbehälter hineinzudrücken.

Eine kräftige Heranziehung der Talsperre für Kraftzwecke ist im Sommer begrenzt, da eine Neu- bez. Wiederauffüllung des Beckens in dieser Zeit nicht sicher ist. Die Niederschläge sind teils in diesen Monaten gering, teils gelangen sie nur in geringem Maße zum Abflusse, da der ausgedörrte Boden und die Vegetation sehr viel Wasser zurückhalten.

Ähnliche Verhältnisse liegen im Winter vor, wenn starker Frost herrscht. Zwar erreicht die Stromabgabe in dieser Zeit ihren Höchstwert, doch wird dieser Nachteil dadurch beseitigt, daß die gefüllte Talsperre zur Stromlieferung genügend beitragen kann, da auf eine

Tabelle 46. Betriebsergebnisse des Elektrizitätswerkes der Stadt Solingen in den Betriebsjahren 1906/07 und 1907/08.

Zentrale Glüder.

	Monate	Leistung der Drehstrom-maschinen in Kilowatt-stunden	Verbrauch der Umformer: In Kilowatt-stunden	Verbrauch der Umformer: In Hundert der erzeugten Energie	In das Netz abgegebene Kilowatt-stunden	In Hundert der erzeugten Energie	Akkumulatorenbatterie: Kilowattstunden geladen	Akkumulatorenbatterie: Kilowattstunden entladen	Akkumulatorenbatterie: Wirkungsgrad in Hundert	Verbrauch für Beleuchtung der Zentrale Kilowatt-stunden	Wasserverbrauch aus der Talsperre f. die Hochdruckturbine cbm	Wasserverbrauch für 1 erzeugte Kilowattstunde cbm
1906/07	April	93 442	9 389	10,05	84 053	89,95	460	265	57,61	1 530	160 072	12,93
	Mai	117 185	9 985	8,52	107 200	91,48	489	246	50,31	1 415	106 157	11,96
	Juni	107 356	8 822	8,22	98 534	91,78	677	214	31,61	1 238	517 942	11,58
	Juli	62 121	7 882	12,69	54 239	87,31	577	208	36,05	1 232	618 744	14,93
	August	37 845	7 085	18,72	30 760	81,28	355	240	67,60	1 345	88 499	12,88
	September	33 338	7 277	21,83	26 061	78,17	674	173	25,67	1 493	252 419	14,03
	Oktober	83 387	10 052	12,05	73 335	87,95	337	251	74,48	1 880	341 473	13,83
	November	113 318	11 907	10,51	101 411	89,49	446	318	71,30	2 122	164 311	14,35
	Dezember	185 398	13 736	7,41	171 662	92,59	493	248	50,30	1 894	557 414	11,92
	Januar	177 736	13 900	7,82	163 836	92,18	560	357	63,75	2 050	486 768	12,82
	Februar	172 461	12 069	7,00	160 392	93,00	519	313	60,31	1 685	612 733	12,42
	März	188 420	13 404	7,11	175 016	92,89	576	292	50,69	1 651	468 946	11,76
	Betriebsjahr 1906/07	1 372 007	125 508	9,15	1 246 499	90,85	6163	3125	50,71	19 535	4 375 478	12,78
	Betriebsjahr 1907/08	1 307 722	123 564	9,45	1 184 158	90,55	5057	4241	83,86	15 765	4 413 724	13,91

Tabelle 47. Eigenbedarf und Energieverluste in der Zentrale Glüder und im Drehstromnetze des Elektrizitätswerkes der Stadt Solingen in den Betriebsjahren 1906/07 und 1907/08.

	Monate	Eigenbedarf und Energieverlust in der Zentrale Glüder in Kilowattstunden: Sammler	Zentralen-Beleuchtung	Erregung und Werkstatt	Summe	In Hundertsteln der erzeugten Energie	Nutzbar abgegebene Kilowattstunden für Beleuchtungs- und Kraftzwecke	In Hundertsteln der erzeugten Energie	An die Straßenbahnzentrale abgegebene Kilowattstunden	In Hundertsteln der erzeugten Energie	Eigenbedarf in der Stadt in Kilowattstunden	In Hundertsteln der erzeugten Energie	Energieverlust in Kilowattstunden	In Hundertsteln der erzeugten Energie
1906/07	April . .	195	1 530	7 664	9 389	10,05	33 799	36,17	37 190	39,80	299	0,32	12 765	36,66
	Mai . . .	243	1 415	8 327	9 985	8,52	36 148	30,85	58 690	50,08	392	0,33	11 970	10,22
	Juni . .	463	1 238	7 121	8 822	8,22	32 975	30,72	50 489	47,03	444	0,41	14 626	13,62
	Juli . . .	369	1 232	6 281	7 882	12,51	34 769	55,23	4 046	6,43	239	0,38	16 021	25,45
	August .	115	1 345	5 625	7 085	11,35	40 633	65,07	1 282	2,05	165	0,26	13 285	21,27
	September	501	1 493	5 283	7 277	10,33	47 184	66,99	1 094	1,55	190	0,28	14 685	20,85
	Oktober .	86	1 880	8 086	10 052	9,77	64 597	62,80	10 139	9,86	344	0,33	17 734	17,24
	November	128	2 122	9 657	11 907	9,76	65 752	53,92	26 971	22,12	543	0,45	16 760	13,75
	Dezember	245	1 894	11 597	13 736	7,40	75 251	40,56	71 747	38,68	521	0,28	24 290	13,08
	Januar . .	203	2 050	11 647	13 900	7,82	66 348	37,33	70 758	39,81	638	0,36	26 092	14,68
	Februar .	206	1 685	10 178	12 069	7,00	54 243	31,45	64 979	37,68	410	0,24	40 760	23,63
	März . .	284	1 651	11 469	13 404	7,12	58 566	31,08	72 411	38,43	279	0,15	43 760	23,22
Betriebsjahr	1906/07	3 038	19 535	102 935	125 508	8,58	610 265	41,71	469 796	32,12	4 464	0,31	252 748	17,28
	1907/08	816	15 765	106 983	123 564	8,40	748 788	50,89	282 780	19,21	3 782	0,26	312 594	21,24

Bemerkungen: Der Eigenbedarf in der Stadt setzt sich zusammen aus dem Verbrauch für das Verwaltungsgebäude, die Eichstation für Zähler, die Werkstätte der Elektromonteure und die Beleuchtung des Magazins unter dem Gasbehälter III.

Die entfernteste in der Luftlinie gemessene Verbrauchsstelle liegt 5800 m vom Elektrizitätswerk Glüder.

Tabelle 48. Stromabgabe des Elektrizitätswerkes Solingen.

Die Stromabgabe verteilt sich auf die einzelnen Monate des Betriebsjahres 1906/07 wie folgt:

Monate	Gesamt-Kilowatt-stunden	Licht	Vom Hundert	Kraft	Vom Hundert	Straßen-beleuch-tung	Vom Hundert	Straßen-bahn	Vom Hundert	Eigen-bedarf	Vom Hundert
April	79 964	8 318	10,40	24 676	30,86	805	1,01	45 866	57,36	299	0,37
Mai	85 559	7 179	8,39	28 367	33,16	602	0,70	49 019	57,29	392	0,46
Juni	80 380	4 786	5,96	27 741	34,51	448	0,56	46 961	58,42	444	0,55
Juli	82 296	4 480	5,44	29 806	36,22	483	0,59	47 288	57,46	239	0,29
August	87 915	6 489	7,38	33 519	38,13	625	0,71	47 117	53,59	165	0,19
September . . .	92 469	11 889	12,86	34 357	37,16	938	1,01	45 095	48,77	190	0,20
Oktober	110 971	20 858	18,80	42 554	38,35	1 185	1,07	46 030	41,48	344	0,30
November . . .	112 500	26 169	23,26	38 239	33,99	1 344	1,20	46 205	41,07	543	0,48
Dezember . .	132 252	33 820	25,57	39 966	30,22	1 465	1,11	56 480	42,71	521	0,39
Januar	117 446	25 284	21,53	39 675	33,78	1 389	1,18	50 460	42,97	638	0,54
Februar	103 548	18 449	17,82	34 695	33,51	1 099	1,06	48 895	47,22	410	0,39
März	111 220	14 898	13,40	42 648	38,35	1 020	0,92	52 375	47,09	279	0,24
Betriebsjahr 1906/07	1 196 520	182 619	15,26	416 243	34,79	11 403	0,95	581 791	48,62	4 464	0,38
1907/08	1 378 609	224 006	16,25	512 007	37,14	11 665	0,85	627 149	45,48	3 782	0,28

Wiederfüllung durch Schneeschmelze und weitere Niederschläge bestimmt gerechnet werden kann.

Auf der anderen Seite muß jedoch bei starker Schneeschmelze oder bei hohen Niederschlägen mit einer bedeutenden Kraftverringerung gerechnet werden, da durch den Rückstau bei Hochwasser das Nutzgefälle der Wupper erheblich verschlechtert wird.

Endlich ist es nicht immer möglich, die Bahnmaschine zur Erzeugung von Drehstrom heranzuziehen, da die Abgabe von Energie zu Bahnzwecken ständig wächst und vor allem an Sonn- und Feiertagen durch das Mitführen von außerfahrplanmäßigen Triebwagen, oder Anhängern, stundenweise ganz außerordentlich hohe Stromstärken benötigt werden.

Der bedeutende Aufschwung in der Entwicklung des städt. Elektrizitätswerkes in den beiden letzten Jahren hat es dahin gebracht, daß die beiden Reserven, die Talsperre und der in der Straßenbahnzentrale aufgestellte Sychronmotor, zu klein sind. Wurden doch in den beiden letzten Jahren aus der nur 3150000 cbm. enthaltenden Talsperre 1930717 bezw. 4375478 cbm zu Elektrizitätszwecken entnommen, während gleichzeitig die Ausgaben für Brennmaterial auf Mk. 10458 bzw. auf 17093 stiegen.

Um daher den fortwährend steigenden Bedarf an elektrischer Energie zu Licht-, Kraft- und Bahnzwecken decken zu können und um eine für einen geordneten und sicheren Betrieb durchaus notwendige Reserve zu haben, soll die Aufstellung eines Dampfdynomo mit einer Leistung von 750 Kilowatt, entsprechend 1000 effektiven Pferdestärken, erfolgen zur Ergänzung der vorhandenen Maschinenstärke.

Durch die Aufstellung eines 1000 PS. Dampfdynamo kann die erforderliche elektrische Energie während des Sommers auf Jahre hinaus gedeckt werden, ohne die Talsperre zur Krafterzeugung hinzuziehen zu müssen, sodaß der Inhalt ganz für die Wasserversorgung verwandt werden kann; einem Wassermangel ist hierdurch in wirksamster Weise vorgebeugt. Aber auch die Ausnutzung der Talsperre wird bei steigendem Stromverbrauch und einer ausreichenden Dampfreserve eine viel bessere, da man unbedenklich die Sperre zur Kraftgewinnung bis auf ein Mindestquantum heruntergehen lassen kann, das dann sicher bis zum Eintritt der Winterniederschläge ausreicht.

Tabelle 49. Übersicht der Einnahmen und Ausgaben des Elektrizitätswerkes der Stadt Solingen im Betriebsjahr 1906/07.

1 725 676 Kilowattstunden erzeugter Strom.
1 192 056 Kilowattstunden verkaufter Strom.

	Betrag		Für 1 Kilowattstunde verkauften Stromes	
			1906/07	1905/06
Einnahmen:	Mk.	Pf.	Pf.	Pf.
Stromabgabe zu Licht- und Kraftzwecken	194 427	89	16,31	16,54
Strommessermiete	7 054	06	0,59	0,60
Stromabgabe zu Straßenbeleuchtungszwecken	2 850	58	0,24	0,30
Unterhaltung der Straßenbeleuchtung	1 708	79	0,15	0,15
Installation	114	39	0,01	0,00
Zinsengewinn	10	31	0,00	0,04
Stromabgabe (Bergisches Elektrizitätswerk)	1 553	77	0,13	0,09
Strommessermiete (Bergisches Elektrizitätswerk)	850	80	0,07	0,06
	208 570	59	17,50	17,78

		Betrag		Für 1 Kilowattstunde verkauften Stromes	
				1906/07	1905/06
Ausgaben:					
Kohlen		17 092	45	1,43	1,09
Beitrag zur Wuppertalsperren-Genossenschaft		2 243	11	0,19	0,23
Gehälter		8 600	—	0,72	0,66
Betriebskosten		12 336	93	1,04	1,85
Unterhaltung der Gebäude		1 675	88	0,14	0,07
» des Anschlußgleises		348	47	0,03	0,04
» der Maschinen und Kessel		4 645	29	0,39	0,53
» der Akkumulatoren		2 878	09	0,24	0,29
» der Schaltanlagen		446	17	0,04	0,04
» des Kabelnetzes		2 082	84	0,17	0,01
» der Apparate		96	07	0,01	—
» der Strommesser		350	63	0,03	0,03
» der Werkzeuge und Geräte		204	43	0,02	0,01
» der Straßenbeleuchtung		1 708	79	0,14	0,15
Betriebsunkosten		7 664	95	0,64	0,32
Allgemeine Unkosten		1 284	47	0,11	0,18
Arbeiterversicherung		847	27	0,07	0,07
Steuern und Versicherung		382	—	0,03	0,01
Zweifelhafte Forderungen		76	70	0,01	—
Zinsen		44 831	49	3,76	4,78
Tilgung		38 872	91	3,26	3,90
Gewinn		59 901	65	5,03	3,52
		208 570	59	17,50	17,78
Selbstkostenberechnung:					
Netto-Kosten: Gehälter, Löhne, Unterhaltung usw.	Mk. 64 964,54				
Abzüglich Einnahme für Messermiete, sowie für Strom und Messermiete für die vom Bergischen Elektrizitätswerke im Stadtkreis Solingen abgegebene Energie zu Licht- bzw. Kraftzwecken	Mk. 9 458,63	55 505	91	3,76	2,92
Verzinsung		44 831	49	3,76	4,79
Tilgung		38 872	91	3,26	3,90
		139 210	31	10,78	12,61

Das Betriebsjahr 1907/08 hat folgende Ergebnisse gehabt:

Erzeugter Strom 1 924 846 Kilowattstunden
Verkaufter » 1 374 827 »

Die Einnahmen und Ausgaben stellen sich auf 243 815,58 Mk. Der Reingewinn beträgt 59 411,16 Mk. oder 4,32 Pf. für eine verkaufte Kilowattstunde. Die gesamten Selbstkosten waren 158 587,41 Mk. Für 1 KW.-Stunde verkauften Stromes berechnen sich die Selbstkosten auf 11,53 Pf., die Einnahmen auf 17,73 Pf. Die höheren Selbstkosten gegenüber dem Vorjahre haben im wesentlichen ihren Grund darin, daß die Dampfkraft in verstärktem Maße herangezogen werden mußte. Für einen Mehrverbrauch von 263 455 durch Dampfkraft erzeugte Kilowattstunden entstand ein Aufwand an Kohlenkosten von 14 236 Mk.

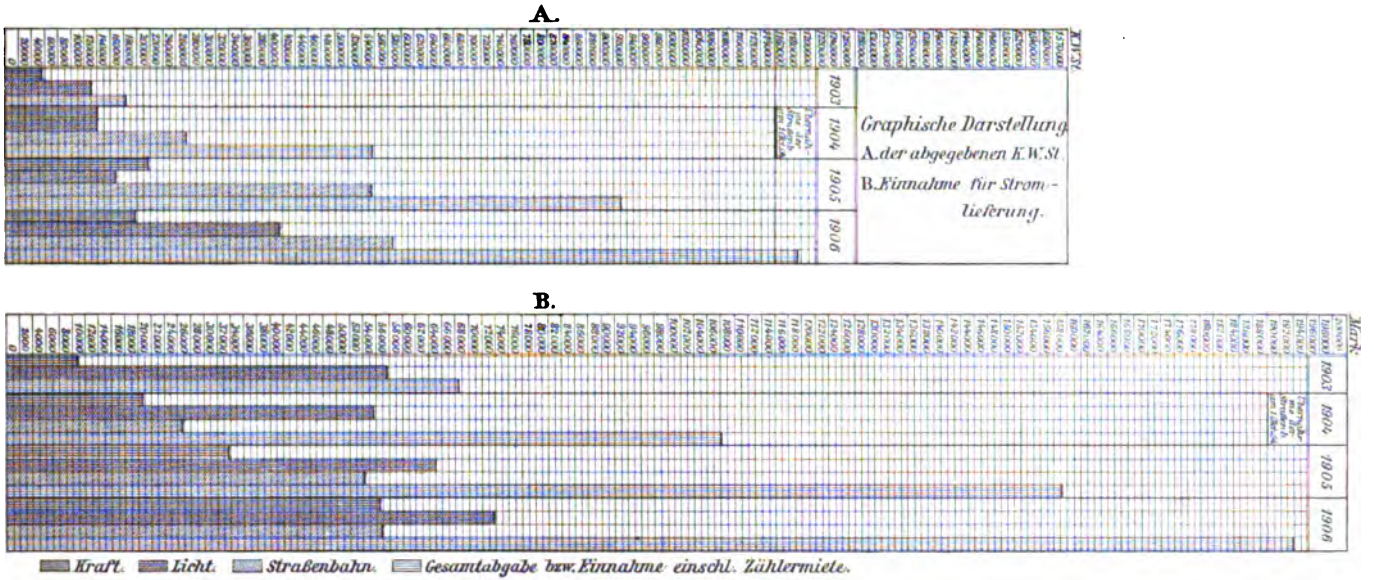


Abb. 225. Graphische Darstellung
A. der abgegebenen Kilowattstunden und
B. der Einnahme für Stromlieferung des Elektrizitätswerkes der Stadt Solingen.

In den Tabellen 45 bis 49, sowie in Abb. 225[1]) sind aus den letzten Jahren einige Betriebsergebnisse dieses Elektrizitätswerkes mitgeteilt. Man ersieht daraus die Gesamtleistung des Werkes, die Erzeugung der einzelnen Betriebsstätten, sowie die Anteilnahme des Wassers und Dampfes an der erzeugten Energie (Tab. 45), ferner den Stromverbrauch in den Umformern und in der Akkumulatorenbatterie, den Wasserverbrauch für die Kilowattstunde, den Eigenbedarf an Strom in den Betriebsstätten und für städtische Zwecke, die Energieverluste im Übertragungsnetz (Tab. 46 u. 47) sowie die Verteilung der Stromabgabe auf die einzelnen Monate des Jahres und nach den verschiedenen Verbrauchsarten für Licht, Kraft, Straßenbahn, Straßenbeleuchtung usw. (Tab. 48). Die Tab. 49 endlich gibt eine Übersicht über die Einnahmen und Ausgaben des Werkes und eine Selbstkostenberechnung. Alle diese Zahlenangaben werden sowohl bei Entwurfsarbeiten für die Beurteilung der Betriebsgestaltung in ähnlichen Anlagen sowie auch für die Abfassung von Jahresberichten und anderen Aufstellungen mancherlei Anhalt und Fingerzeige bieten.

Die Unterhaltungskosten der beiden Solinger Talsperren (Sperrmauer und Staudamm) betragen jährlich etwa $^1/_{13}$ v. H. der Bausumme.

Eine Übersicht über die wasserwirtschaftlichen Ergebnisse des Staubeckens seit seiner Inbetriebnahme im Jahre 1903 gibt die Tabelle 50.

Elektrizitätswerk der Stadt Nordhausen a. H. Der Betrieb des Talsperrekraftwerkes ist seitens der Stadt Nordhausen an die Elektrizitäts-Aktien-Gesellschaft vormals Schuckert & Co. zu Nürnberg verpachtet. Das Abkommen ist in der Weise geregelt, daß die Stadt Nordhausen auf ihre Kosten die hydraulischen Anlagen — Talsperre, Rohrleitung und Kraftgebäude — errichtet hat und unterhält. Die genannte Firma hat in gleichem Umfange den maschinellen und elektrischen Ausbau einschließlich der Fernleitung übernommen und führt den Kraftbetrieb auf eigene Kosten. Die Stadt erhält als Vergütung eine jährliche Pauschabfindung von 15000 M. bis zu einer Kraftentnahme von 250000 Kilowattstunden. Für jede weitere Kilowattstunde — gemessenen auf Schaltbrett des Staatsbahnhofs Nordhausen — werden 5 Pfg. bezahlt.

Es stehen im ganzen bei 50 l/sek. Wasserabgabe etwa 550000 K.W.-St. und in einem mittleren Jahre, wenn man hierfür nur 2,6 Mill. cbm. Jahresabfluß in Ansatz bringt, etwa 800000 K.W.-St. am Kraftwerke zur Verfügung.

Der Betrieb vollzieht sich in der Weise, daß das Talsperrenwerk seine Kraft an die vorgenannte Zentrale abgibt und diese für die weitere Verwendung des Stromes Sorge trägt. Zwischen dem genannten Elektrizitätswerk und der Staatsbahnverwaltung ist ein Vertrag abgeschlossen, wonach der Strom bis zur Entnahme von 160000 K.W.-Stunden im Jahr mit 14 Pf., darüber hinaus mit 13 Pfg. für die gelieferte K.W.-St. bezahlt wird. Der Preis bei Abgabe innerhalb der Stadt an Private beträgt 65 Pfg. für Licht und 20 Pfg. für Kraft für 1 Kilowattstunde.

Über den Tarif und die Wirtschaftlichkeit der Elektrizitätswerke in Gersthofen äußert sich Prof. Epstein in dem Bayr. Industrie- und Gewerbeblatt 1904. Die Ausführungen haben zum Teil allgemeine Bedeutung und mögen daher auszugsweise hier Platz finden. Es läßt sich nicht schlechthin davon sprechen, bemerkt er, welche Gestehungskosten ein derartiges Werk für die Kilowattstunde aufzubringen hat, denn diese Gestehungskosten hängen von der Ausnutzung ab. Wenn es wirtschaftlich vorteilhaft ist, den Verkaufspreis in Beziehung zu den eignen Gestehungskosten zu setzen, so ergibt sich, daß es nicht angeht, den Verkaufspreis einheitlich festzusetzen, sondern man wird damit rechnen,

1) Nach den Jahresberichten über den Betrieb der städtischen Wasser- und Elektrizitätswerke in Solingen.

Tabelle 50. Wasserwirtschaftliche Ergebnisse der Solinger Talsperrenanlage seit Inbetriebnahme des Staubeckens Ende März 1903 bis zum 1. April 1908[1]).

Größe des Niederschlagsgebietes 11,8 qkm.
Inhalt des Hauptstaubeckens . . 3,15 Mill. cbm.
» » Vorbeckens . . . . 0,1 » »

Abflußjahr vom 1. April bis 31. März	Jahres-niederschlag	Zuflußmenge zum Staubecken in 24 Stunden. Während des Jahres		Inhalt des Staubeckens am 1. April des Betriebsjahres	Niederschlagsmengen während des Betriebsjahres	Wasserzufluß zum Staubecken während des Betriebsjahres	Wasserzufluß zum Staubecken in Hundertsteln des Niederschlags	Wasserabfluß aus dem Staubecken						
		größte	kleinste					Trinkwasserabgabe an die Stadt Solingen	Kraftwasserabgabe für den Turbinenbetrieb: für Wasserhebung	Kraftwasserabgabe für den Turbinenbetrieb: zur Erzeugung elektrischer Energie	Durch den Leerlaufstollen	Über den Überlauf abgeflossen	Sickerwasser in den beiden Stollen der Sperrmauer	Verluste und verdunstete Wassermenge
	mm	cbm	cbm	Mill. cbm	Mill. cbm	Mill. cbm		Mill. cbm	Mill. cbm	Mill. cbm	Mill. cbm	Mill. cbm	cbm	cbm
1903/04	1111	173 000 (Novemb.)	2000 (Mai-Juni)	0,10	13,331	9,592	71,9	1,300	1,040		0,100	3,500	9630	180 000[2])
1904/05	856	187 000 (Januar)	400 (Septbr.)	3,0	10,272	5,685	55,3	1,171	1,298	1,378	—	1,500	4500	204 000
1905/06	1201	130 000 (März)	2300 (Juli)	3,150	14,407	11,090	76,9	1,226	0,811	1,931	—	6,534	3000	586 000
1906/07	1042	106 000 (Dezemb.)	2500 (Septbr.)	3,150	12,508	8,267	66,1	1,323	0,610	4,375	—	1,792	5000	161 000
1907/08	1011	76 050 (Januar)	1603 (Septbr.)	3,150	12,131	7,222	59,5	1,526	0,356	4,414	—	0,784	4500	247 000
1908/09	—	—	—	3,150	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Bemerk. In dem außergewöhnlich trocknen Sommer des Jahres 1904 betrug in den sechs Sommermonaten Mai bis Oktober die gesamte Niederschlagshöhe 313 mm, die Niederschlagsmenge 3,761 Mill. cbm, der Zufluß zum Becken 0,342 Mill. cbm, d. i. 9,1 v. H. des Niederschlags. Dieses Zuflußverhältnis ging in den trockensten Monaten Juli bis September auf 2,0, 3,0 bzw. 4,4 v. H. herunter.

1) Zusammengestellt nach freundlichst überlassenen Aufzeichnungen der Direktion der städt. Wasser- u. Elektrizitätswerke in Solingen.
2) Außerdem wurden zur Speisung der unteren Rieselwiesen 561 000 cbm abgegeben.

wie viel dem Werk die Erzeugung der elektrischen Energie für den betreffenden Verbraucher kostet. Hierdurch wird man auf der einen Seite einen erzieherischen Einfluß auf die Verbraucher ausüben, auf der anderen Seite das Werk in den Stand setzen, grade für diejenigen Verbraucher zu arbeiten, für welche die Arbeitsleistung des Werkes eine volkswirtschaftlich wichtige ist.

Es besteht zunächst ein verschiedener Tarif für Licht und Kraftverbrauch, und zwar beträgt der Grundpreis für die Kilowattstunde für Licht 60 Pf., für Kraft 20 Pf. Um den Lichtverbrauchern bei längerer täglicher Brennzeit den Vorteil des gleichmäßigeren Bedarfs, auf dem der billigere Kraftpreis beruht, zu teil werden zu lassen, bestimmt der Tarif, daß bei mehr als 375 Betriebsstunden der Lichtverbraucher auch nur den Kraftpreis von 20 Pf. bezahlt. Statt eines solchen Tarifs, bei dem der wirkliche Verbrauch mittels Zähler ermittelt wird, haben sich bei kleinen Abnehmern, wie sie in ländlichen Bezirken vorkommen, Pauschaltarife gut bewährt. Wenn in irgendeiner Anlage ein solcher gerechtfertigt ist, so ist es, wie Epstein hervorhebt, bei der Wasserkraft der Fall, weil ja hier die Erzeugungskosten nicht in dem Maße verhältnismäßig wachsen als z. B. bei Dampfmaschinenbetrieb. Das Gersthofener Werk hat darum in ausgedehntem Maße Pauschaltarife eingeführt. Es werden für eine 16kerzige Lampe in Pritvatwohnungen 18 Mk., in Gasthäusern mit stärkerer Benutzung 24 Mk. bezahlt. Kleingewerbetreibende, bei denen auf eine tägliche Benutzungsdauer von 11 Stunden zu rechnen ist, zahlen je nach der Größe des Motors für die Pferdekraft 230 bis 300 Mk. Bei 24 Stunden Benutzungsdauer erhöht sich der Pauschalsatz nur um 40 v. H., weil auch für das Werk nicht eine Verdoppelung infolge der längeren Betriebszeit eintritt. Die Anlage ist seit einigen Jahren im Betriebe. Von der Leistungsfähigkeit von 6000 PS. nehmen die Höchster Farbwerke 3000 PS. Tag und Nacht ab. Der Lichtbedarf war bei den übrigen Kleinabnehmern gleich bei der Eröffnung des Werkes ein reger. Für den Kraftverbrauch lagen von vornherein wenig Anmeldungen vor, weil man der neuen Betriebsart mit Mißtrauen entgegensah und zunächst eine abwartende Stellung einnahm. Später aber ergab sich ein stetig fortschreitender Kraftbedarf.

Die durchschnittliche Leistung der Motoren beträgt 4 PS. Die Abnehmer gehören meist den Kreisen des Handwerkerstandes und des kleinen Gewerbes an und darin beruht die volkswirtschaftliche Bedeutung dieses Unternehmens. Man glaubt grade in der lebhaften Anschlußbewegung der Kleinabnehmer die Rechtfertigung zu erblicken für die Gesichtspunkte, nach denen bei der Ausgestaltung des Werkes vorgegangen wurde.

Das Elektrizitätswerk Untertürkheim am Neckar besitzt eine Wasserkraft von 720 PS. und ist mit einem Gesamtaufwand von 950000 Mk. errichtet, worin eine Dampfaushilfsanlage mit einbegriffen ist. Für Abgabe elektrischer Energie zu Lichtzwecken ist ein Grundpreis von 45 Pf. für 1 Kilowattstunde angesetzt. Als Mindestbetrag werden 2 Mk. jährlich für jede angeschlossene Glühlampe und 20 Mk. für jede Bogenlampe erhoben. Für den zu Kraftzwecken abgegebenen Strom kostet die KW.-Stunde 15 Pf. Der Mindestbetrag für 1 Jahr und 1 angeschlossene Pferdekraft beträgt 25 Mk. Bei Motoren, die zum Antriebe landwirtschaftlicher Maschinen dienen, wird der Betrag für Jahr und Pferdekraft auf 10 Mk. ermäßigt. Die Kraftabgabe bezifferte sich bei Eröffnung des Betriebes (1902) auf 420 PS. Die Abnahme der gesamten Stromerzeugung ist gesichert[1]).

Städt. Elektrizitätswerk Schweinfurt. Betriebseröffnung 1905. Leistung 800 PS. in Wasserkraft und ebensoviel mittels Dampfaushilfe. Die Kilowattstunde für Licht kostet 30 bis 45 Pf. Die PS.-Stunde stellt sich nach Maßgabe des Tarifs in kleinen Betrieben

1) Müller, Wehranlage und Elektrizitätswerk Untertürkheim.

auf rd. 12 Pf. und ermäßigt sich bei größeren Betrieben auf 7 bis 8 Pf. Die Stadt hat den Betrieb verpachtet. Der Vertrag sichert der Stadt eine steigende Verzinsung des Anlagekapitals von 4,5 bis 7 v. H.; außerdem fällt ihr der überwiegende Anteil am Reingewinn zu, der sich nach Bezahlung des gewährleisteten Pachtzinses, nach Deckung der Betriebs- und Verwaltungskosten und nach Rücklage eines Erneuerungsfonds ergibt.

Die Bedingungen für die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens wurden schon im ersten Betriebsjahre voll erfüllt und von der guten Entwicklung zeugt der Umstand, daß der anfänglich nur teilweise Ausbau des Werkes (400 PS. Wasserkraft, 400 PS. Dampfkraft) schon 1907 auf die volle Leistung von je 800 PS. gebracht wurde[1]).

Die Kosten der Ennepetalsperre (10 Mill. cbm Stauinhalt) mit Wasserwerk und Elektrizitätswerk betragen nach der Ausführung 3 Mill. Mark. Die Verzinsung der Baugelder erfolgt mit $3^3/_4$ und 4 v. H. Die Anleihen werden mit $^1/_2$ v. H. getilgt. Für die Bedienung und Unterhaltung der Anlage sind $^1/_5$ v. H. in Ansatz gebracht. Die hierdurch entstehenden jährlichen Betriebsausgaben von 136000 Mk. werden vom Ruhrtalsperrenverein (100000 Mk.), von der Ennepetalsperrengenossenschaft (12000 Mk.) und dem Kreise Schwelm (24000 Mk.) getragen. Die Anlage dient neben der zentralen Wasserversorgung im Kreise Schwelm und der Kraftgewinnung im Kraftwerke unterhalb der Talsperre der Abgabe von Betriebswasser an die Triebwerke im Ennepetale und zum Ersatz des von den Wasserwerken an der unteren Ruhr fortgepumpten Wassers.

Der Preis der elektrischen Energie ist auf 20 Pf. für die Kilowattstunde für Kraft- und 35 Pf. für Lichtzwecke bei Gewährung angemessener Rabattsätze für Kraftzwecke festgesetzt worden. Diese Sätze stehen wesentlich unter denjenigen der in der Nähe liegenden Großstädte. Die Anlage ist im Jahre 1905 in Betrieb genommen; es können jährlich rund 1,9 Mill. Pferdekraftstunden abgegeben werden.

Nach dem Statut der Ennepetalsperrengenossenschaft wird das Verhältnis, in welchem die einzelnen Genossen zu den Genossenschaftslasten beizutragen haben, in der Weise bestimmt, daß für jede durch das Talsperrenwasser bei der vorhandenen Einrichtung der Motoren zu gewinnende Nutzpferdekraft ein Satz von 30 Mk. im Jahr für den Tagesbetrieb gezahlt und außerdem ein jährlicher Pauschalzuschlag geleistet wird, der sich nach der Größe der vorhandenen Motoren richtet und beträgt für:

0 bis 5 PS.	30 Mk.
5 » 10 »	40 »
10 » 15 »	50 »
15 » 20 »	60 »
20 » 30 »	80 »
30 » 50 »	100 »
über 50 »	120 »

Über die wirtschaftliche Bedeutung des Sammelbeckens für die Kraftgewinnung in den Triebwerken wird berichtet[2]): Durch die dauernd und gleichmäßig aus dem Sammelbecken abzulassenden großen Wassermengen werden dieselben nicht nur in der Lage sein, die vorhandenen Motore besser und ausgiebiger auszunutzen, sondern es wird ihnen auch die Möglichkeit gegeben, ihre Motore zu vergrößern und ungenutzte Gefälle auszubauen. Die Genossenschaft umfaßt 46 Stauanlagen mit 81 Einzeltriebwerken, die vor Erbauung der Talsperre etwa 291 PS. leisteten. Die aus der vermehrten Wasserführung des Triebbaches zu erzielende Nutzleistung wird zu 900 bis 1000 PS. angegeben. Neben der

1) Journ. f. Gasb. u. Wasserversorg. 1907. S. 410.
2) Harz, Die Ennepetalsperre.

finanziellen Wirkung der Kraftzentrale an der Talsperre, dem Kreise Schwelm für die übernommene Last von 24000 Mk. Einnahmen zu verschaffen, besteht die volkswirtschaftliche Bedeutung in einer guten Lichtversorgung und in der Abgabe billiger elektrischer Kraft an die Kleingewerbetreibenden, besonders soweit dabei die als Hausgewerbetreibenden der Textilindustrie beschäftigten Bandwirker in Betracht kommen. Hier liegt die Gefahr vor, daß durch die Großbetriebe diese selbständigen Hausgewerbetreibenden allmählich zu Lohnarbeitern heruntersinken. Dieser Gefahr wird durch die Gewährung billiger elektrischer Kraft vorgebeugt, zumal geplant ist, in geeigneten Fällen die Anlagekosten der Motoren vom Kreise vorzulegen und ratenweise zurückzufordern. Die Rentabilität des Eleklrizitätswerkes erscheint schon bei einer Abgabe von nur 450000 KW.-Stunden im Jahre gesichert (zur Verfügung stehen 1380000 KW.-St.).

Die Rurtalsperrengesellschaft, G. m. b. H., Kraftwerk Heimbach i. d. Eifel, hat vier Abnehmer:

1. Die Stadt Aachen,
2. Den Landkreis Aachen,
3. Den Landkreis Düren,
4. Den Landkreis Schleiden,

welche, ebenso wie die nichtbezugsberechtigten Kreise, Gesellschafter sind. Die drei erstgenannten Abnehmer erhalten den Strom zu 4,1, der vierte zu 3,7 Pf. für die Kilowattstunde und weiterhin noch eine Ermäßigung bis zu 10 v. H., wenn die Dividende der Gesellschaft 5 v. H. übersteigt. Dafür ist ihnen aber die Verpflichtung auferlegt, die jeweils gewährleistete Jahresmenge, die zwischen 2,4 und 8,5 Mill. KW.-Stunden liegt, unter allen Umständen zu bezahlen, also auch dann, wenn sie nicht verbraucht werden kann.

Die Kreise sind im Weitervertrieb der elektrischen Energie ganz selbständig, haben sich aber im großen und ganzen an einen von der Verwaltung der Gesellschaft ausgearbeiteten Tarif gehalten, nach welchem der Strom für Beleuchtungszwecke mit Berücksichtigung der Rabatte sich auf 25 bis 40 Pf. für die KW.-Stunde stellt.

Der Strom zu Kraftzwecken wird:

a) bei Niederspannung zu 8 bis 35 Pf.

b) bei Hochspannung (5000 Volt) zu $4^1/_2$ bis 25 Pf. verkauft; in beiden Fällen hat die jährliche Gesamtleistung und die Art der Entnahme den größten Einfluß auf den Preis. Es ist eine Prämie auf möglichst gleichmäßigen Verbrauch gesetzt, ein Umstand, der für den Betrieb des Kraftwerkes sehr ins Gewicht fällt. So z. B. zahlt ein Verbraucher, der 10 PS. während 24 Stunden braucht, erheblich weniger, als ein anderer, der 24 PS. während 10 Stunden betreibt[1]).

Einen Anhalt für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit des Werkes gibt der auf Seite 104 u. f. mitgeteilte Betriebsplan. Siehe auch S. 427.

Die Stauweiher in den Vogesen sind zum Zwecke der Aufhöhung des Niedrigwassers in den Triebbächen und zur Landbewässerung errichtet. Durch den Ahlfeldweiher von 1,1 Mill. cbm Stauinhalt können in 41 Triebwerken bei 100 m Gesamtgefälle jährlich etwa 800000 PS.-Stunden nutzbar gemacht werden. Selbst wenn hiervon nur die Hälfte verwertet wird, so berechnet sich aus dem entsprechenden Ersparnis an Kohlen der Gewinn in Geldwert zu 22400 Mk. Einschließlich der Benutzung des Wassers in dem am Bache angesiedelten Baumwollengewerbe läßt sich der verwertbare Gewinn auf 40000 Mk. im

1) Stauweiher im Harze. Versammlungsbericht der Gesellschaft zur Förderung der Wasserwirtschaft im Harz 1905. Braunschweig. Genauen Tarif s. Zeitschr. Wasserwirtschaft und Wasserrecht 1906 S. 216.

Tabelle 51. Zusammenstellung der durch die Wuppertalsperren gewonnenen Wasserkräfte.

Nr.	Bezeichnung der Werke	Gesamtgefälle in m	Gesamt-Wasserkraft für 1 Tag		Sonstiger Wasserverbrauch für Färberei, Wäscherei, Kondensation usw. in cbm für 1 Tag	Durch Talsperrenwasser gewonnene Wasserkräfte	
			nach jetziger Ausnutzung in PS.	nach voller Ausnutzung in PS.		bei jetziger Ausnutzung in PS.	bei voller Ausnutzung des Wassers in PS.
1	5 Pulvermühlen mit 16 Motoren . . .	14,16	34	40	—	10,4	13,5
2	1 Knochenmühle mit 1 Motor. . .	3,55	17	17	135	9,0	9.0
3	9 Fruchtmühlen m. 10 Motoren . .	19,85	140	453	—	13,7	18,5
4	15 Tuchfabriken mit 14 Motoren . . .	34,30	920	1120	9 200	207,1	215,0
5	7 Spinnereien mit 5 Motoren . . .	11,15	450	675	4 860	98,0	99,4
6	3 Hammerwerke m. 13 Motoren . . .	9,87	50	65	—	2,0	6.0
7	6 Elektrizitätswerke mit 7 Motoren .	19,80	515	715	8 900	126,5	220,0
8	64 Druckereien, Färbereien, Bleichereien, Webereien usw. mit 9 Motoren	16,86	220	495	25 500	32,7	41,2
9	4 Eisengarnfabriken mit 3 Motoren	9,94	275	300	2 040	55,3	61,8
10	1 Bügeleisenfabrik mit 1 Motor. . .	1,70	18	50	—	6,9	7,9
11	4 Papierfabriken m. 6 Motoren . . .	6,20	322	370	1 400	80,7	80,7
12	19 Schleifereien mit 27 Motoren . . .	31,81	318	400	—	45,1	45,8
13	1 Filzfabrik mit 2 Motoren	6,40	101	230	200	14,1	55,4
14	1 Holzstofffabrik mit 2 Motoren .	4,60	189	189	—	20,4	20,4
15	1 Wasserwerk und Elektrizitätswerk mit 3 Motoren .	5,25	300	300	—	74,2	74,2
16	2 Charnier- u. Metallschraubenfabriken mit 6 Motoren	6,20	184	220	—	15,1	25,0
	Zusammen	201,64	4053	5639	52 235	810.3	994,0

Bei vorstehender Aufstellung ist bei voller Ausnutzung der Wasserkraft nur diejenige Kraft berechnet, die der vorhandene Motor, unter Berücksichtigung der bestehenden Einrichtung des Werkes, leisten kann. Wollte man dagegen das ganze fließende Wasser berechnen, ohne Berücksichtigung der bestehenden Einrichtungen und Motoren, so würde sich die ganze zu erzeugende Wasserkraft bedeutend höher stellen.

Tabelle 52. Wasserwirtschaftliche Ergebnisse der Wuppertalsperren, zusammengestellt nach den Berichten über die Wuppertalsperren in den Jahren 1902—1907 [1]).

Jahr	Bevertalsperre Niederschlagsgebiet: 22 qkm — Beckeninhalt: 3,3 Mill. cbm.						Lingesetalsperre Niederschlagsgebiet: 9 qkm — Beckeninhalt: 2,6 Mill. cbm.						Bemerkungen. Der jährliche Zufluß vom Quadratkilometer im Mittel der Jahre 1902—05 betrug: Bever 975 000 cbm, Lingese 982 000 cbm.
	Jahresniederschlag mm	Abgeflossene Wassermenge in Mill. cbm	Zugeflossene Wassermenge in Mill. cbm	Überlauf der Sperre in Mill. cbm	Abgegebene Nutzwassermenge in Mill. cbm	Abgegebene Nutzwassermenge im Verhältnis des Zuflusses v. H.	Jahresniederschlag mm	Abgeflossene Wassermenge in Mill. cbm	Zugeflossene Wassermenge in Mill. cbm	Überlauf der Sperre in Mill. cbm	Abgegebene Nutzwassermenge in Mill. cbm	Abgegebene Nutzwassermenge im Verhältnis des Zuflusses v. H.	Abfluß v. H. des Niederschlags
1901	1233	19,053	19,032	4,779	7,425	—	1309	6,991	7,724	1,0	4,672	—	Bever 71,1 Lingese 75,1
1902	1222	20,427	20,422	7,224	5,475	26,8	1299	10,340	8,780	2,509	4,235	48,2	Bever 90,5 Lingese 75,7
1903	1259	27,542	26,787	15,015	5,155	19,2	1486	9,062	10,347	2,386	3,460	33,4	Bever 67,5 Lingese 66,8
1904	1013	15,700	16,060	4,037	6,572 [2])	40,9	1149	8,017	7,062	1,279	4,285 [3])	60,6	Bever 75,9 Lingese 73,1
1905	1468	24,250	24,950	11,923	4,145 [4])	16,6	1520	9,049	10,224	3,153	3,320 [5])	32,5	Bever 83,6 Lingese 75,6
1906	1380	26,530	25,830	14,350	4,925 [6])	19,1	1444	11,111	10,036	4,660	3,835 [7])	38,2	Bever 88,4 Lingese 79,0
1907	1038	20,283	20,558	8,785	5,700 [8])	28,2	1196	8,501	8,691	2,526	3,815 [9])	43,9	

1) In der Zeitschrift »Wasserwirtschaft und Wasserrecht«.
2) Außerdem durch die Durchlaßrohre ab: 5,091 Mill. cbm.
3) Außerdem ab durch die Durchlaßrohre: 2,453 » »
4) » » » » » : 8,183 » »
5) » » » » » : 2,576 » »
6) Außerdem ab durch die Durchlaßrohre: 7,255 Mill. cbm.
7) » » » » » : 2,616 » »
8) » » » » » : 5,798 » »
9) » » » » » : 2,195 » »

Jahre schätzen. Der Gewinn, der sich für die Landwirtschaft aus der Ausnutzung des Stauweihers ziehen läßt, kann jährlich zu 50000 Mk. angenommen werden. Die Anlagekosten des Weihers betragen 440000 Mk. Wenn der Gesamtgewinn nur mit 75000 Mk. in Ansatz gebracht wird, so beläuft sich die Verzinsung des Anlagekapitals auf 17 v. H.[1]).

Bei den Stauweihern im Fechttale (Vogesen), die den gleichen Zwecken dienen, berechnet sich die Rentabilität zu etwa 11 v. H.

Die Wuppertalsperren-Genossenschaft hat im Quellgebiet der Wupper (Rhein) an der Bever und Lingese zwei Sammelbecken von 3,3 und 2,6 Mill. cbm Rauminhalt errichtet. Außerdem sind am Flußlaufe entlang drei Ausgleichweiher vorhanden von zusammen 168000 cbm Fassungsraum. Die Gesamtbaukosten betragen 3040000 Mk. Das Nutzwasser soll genügen, um das Niedrigwasser der Wupper vor Barmen bei einem Niederschlagsgebiet von 300 qkm auf 6000 Sekundenliter bei einer natürlichen Wasserführung der Wupper von 4000 s/l und auf 5000 s/l bei geringerem Wupperabfluß, im Sommer auf 4200 s/l bei einer Wasserführung von 2800 s/l und auf 3500 s/l bei geringerem Wupperabfluß — während $14^1/_2$ Stunden am Tage — zu erhöhen. Zur Berechnung des Nutzens der Talsperren sind für jedes Werk Beitragskarten angefertigt worden, für welche der natürliche Wasserabfluß der Wupper in den mittleren Jahren 1888 und 1889 zugrunde gelegt ist[2]). Die statutenmäßigen Einheitspreise sind 80 Mk. für die Jahrespferdekraft bei 3000 Arbeitsstunden und 0,50 Mk. für 1 cbm Wasserentnahme während eines Jahres z. B. für Färbereien, Wäschereien. Im Jahre 1900 waren zum Geldbedarf von den Genossen rund 100000 Mk. aufzubringen und es fand eine Erhöhung der berechneten Beiträge auf $\frac{3}{2}$ der Normalbeiträge statt.

Über die Wasserkraftverhältnisse und den Wasserverbrauch der industriellen Werke an der Wupper, sowie die durch die Talsperren geschaffenen Wasserkräfte gibt die Tabelle 51 Aufschluß.

Die Sammelbecken sind seit dem Jahre 1901 im Betriebe und einer einheitlichen Verwaltung — dem Vorsteher der Genossenschaft — unter Oberaufsicht der staatlichen Behörden unterstellt. Der Geschäftsgang ist durch ein Statut geregelt. Die wasserwirtschaftlichen Ergebnisse der Betriebsjahre 1901—07 sind in Tabelle 52 zusammengestellt.

Die Wirksamkeit der Wuppertalsperren wird demnächst vergrößert werden durch die im Jahre 1908 fertiggestellte Neyetalsperre von 6 Mill. cbm Stauraum, die neben der Wasserversorgung von Remscheid (als Ergänzung der bereits vorhandenen Talsperrenanlage) auch den Zwecken der Wuppertalsperren-Genossenschaft dienen wird. Ein weiteres Staubecken bei Hammerstein (1,6 Mill. cbm) im oberen Tale der Wupper selbst, sowie die Einschaltung von noch einigen Ausgleichweihern entlang am Flusse zur besseren Regulierung des Abflusses sind beschlossen bzw. in Anregung gebracht.

Bemerkenswert sind die geringen bisherigen Unterhaltungskosten dieser Talsperren, woraus man allgemeinere Schlüsse für den Betriebsaufwand solcher Bauwerke ziehen kann. Nach den Jahresberichten betragen die Kosten für laufende Unterhaltungs- und Ausbesserungsarbeiten in den Jahren 1902—06 an der Bevertalsperre etwa $^1/_5$ v. H., an der Lingesetalsperre etwa $^1/_{14}$ v. H. des Anlagekapitals. Der Unterschied erklärt sich aus besonderen Aufwendungen an der Bever im Jahre 1903. Das Mittel beider Sperren ist eine jährliche Ausgabe von $^1/_6$ bis $^1/_7$ v. H. des Anlagekapitals für die Unterhaltung der Mauern, Wege- und Uferbefestigung und des Wärtergebäudes.

---

1) Zeitschr. f. Bauwesen. 1889 und 1893. Hier sind auch über die Handhabung des Stauweiherbetriebes eingehende Mitteilungen gemacht.

2) Beispiele in der Zeitschrift »Die Talsperre« 1903.

Rheinfelden. Aus dem Geschäftsbericht für das Jahr 1905[1]). Die beiden elektrochemischen Fabriken, die die Kraft von 10 Turb. verwerten, haben der Zentrale entnommen (1905) 51,6 Mill. KW.-St., der Netzbetrieb betrug 42,6 Mill. KW.-St. (davon 32,9 Mill. durch die Zentrale, 9,7 Mill. vom Elektr.-W. Beznau und durch die Dampfreserve).

Das Rheinfeldener Werk arbeitete während 5 Monaten aushilfsweise für das Elektrizitätswerk Wangen, dessen Betrieb infolge des Bruchs der Mauern des Betriebskanals gestört war. In dieser Zeit erfolgte die Kraftlieferung bis nach Solothurn, Dilsberg und Burgdorf — also auf sehr weite Entfernungen —, ohne daß nennenswerte Betriebstörungen stattfanden.

Trotz fortgesetzter großer Tilgung und trotzdem der Hauptteil der Kraft zu außerordentlich billigen Preisen abgegeben wird, zeigt die Dividendenzahlung eine steigende Linie (s. die Tabelle am Schluß dieses Abschnittes).

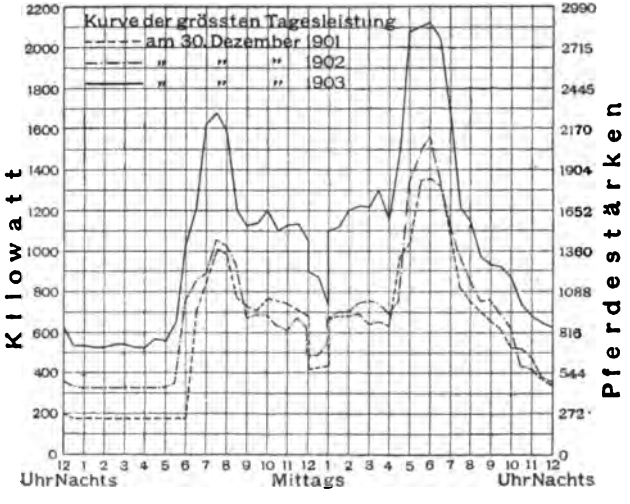


Abb. 226. Darstellung der Schwankungen in der Inanspruchnahme des Elektrizitätswerkes Kubel an drei Tagen stärkster Belastung.

Das Elektrizitätswerk Kubel (Schweiz) hat vier Tarife. Nach Tarif A für regelmäßig benutzte Kraft (10 bis 11 Stunden am Tage) beträgt der Jahrespreis:

für 1 PS. 320 Mk.
» 10 » 226 »
» 50 » 144 »

Für dauernde Stromabgabe bei Tag und Nacht erhöhen sich obige Preise um 40 v. H.

Tarif B gilt für Kraft, die nur am Tage benutzt wird. Es kostet fürs Jahr 1 PS. 8 Mk. für die PS.-Stunde, mindestens jedoch 80 Mk. für 1 Jahr und Pferdestärke. 10 PS. kosten 4,8 Mk. für die PS.-Stunde, mindestens jedoch 58 Mk. für 1 Jahr und Pferdestärke. Dieser Tarif findet im allgemeinen nur Anwendung für Motore unter 10 PS.

1) Zeitschr. f. d. ges. Turb. 1906.

Nach Tarif C — gültig nur für Leistungen zwischen 2 bis 50 PS. — geschieht die Kraftabgabe nach Messung. Der Tarif eignet sich besonders für Abonnenten, deren Motore einen unregelmäßigen Verbrauch haben. Die Grundtaxe für 1 PS. und Jahr beträgt:

2 PS. 176 Mk.
10 » 148 »
50 » 80 »

Außerdem wird eine Verbrauchstaxe von 3,2 Pf. für die PS.-Stunde erhoben.

Der vierte Tarif D ist für Motorenbetrieb zwischen 10 Uhr nachts und 6 Uhr morgens aufgestellt. Nach demselben beträgt der Preis für PS. und Jahr:

für 10 PS. 80 Mk.
» 50 » 57,6 »
» 100 » 40 »

Auch die Stromabgabe für Beleuchtung unterliegt verschiedenen Tarifen und zwar bei Pauschalabnahme je nach der Anzahl der Brennstunden der Lampen im Jahr. Es werden beispielsweise gezahlt:

bei 0 bis 100 Brennstunden 3,8 Mk.
» 400 » 600 » 11,2 »
» 1500 » 2000 » 22,4 »

Die Mehrzahl der Lampen werden nach Zählern bezahlt, wobei der Strompreis 40 Pf. für 1 Kilowattstunde beträgt.

Für Koch- und Heizzwecke wird der Strom zu 16 Pf. für 1 KW.-St. abgegeben.

Das 5000 PS. starke Werk hat rund 4,3 Mill. Mk. gekostet. Der Betriebsüberschuß betrug im ersten Jahre (1901/02) rund 150000 Mk., im zweiten Jahre rund 218000 Mk. [1]).

Ein Bild der im Tageslaufe stark schwankenden Belastung dieses Werkes — und damit einen allgemeinen Anhalt für die Beurteilung der wechselnden Inanspruchnahme der Leistung von Elektrizitätswerken — geben die Kurven in Abb. 226. Man ersieht, daß der Kraftbedarf im Laufe einer Stunde bis etwa auf das Doppelte steigt. Dementsprechend muß in den einzelnen Tagesstunden der Wasserzufluß zu den Turbinen verschieden sein, um bei gegebenem Gefälle die von den Verbrauchern jeweilig angeforderte Menge elektrischer Energie erzeugen zu können.

Das Werk wurde im Oktober 1900 in Betrieb gesetzt. Schon das erste Betriebsjahr hat die Lebensfähigkeit und Rentabilität des Werkes dargetan, was bei den hohen Baukosten nur dem außergewöhnlich guten Absatzgebiet des Werkes zuzuschreiben ist.

Das Betriebsjahr 1902/03 (das Werk schließt sein Rechnungsjahr am 30. April ab) ergab bei 272000 Mk. Einnahme einen Betriebsüberschuß von 219200 Mk., während das soeben abgeschlossene Jahr 1903/04 eine Einnahme von 352000 Mk. und einen Betriebsüberschuß von 256800 Mk. brachte. Dabei erzeugte die Zentrale 5762000 Kilowattstunden und es betrug die mittlere Einnahme 6,0 Pf. für 1 Kilowattstunde (am Schaltbrett). Die Ergebnisse des letzten Jahres gestatten nebst Abschreibungen im Betrage von 64000 Mk. die Auszahlung einer Dividende von 5 v. H.

Die maximale Tagesleistung der Zentrale betrug im Rechnungsjahre 1903 21000 KW.-Stunden, die maximale gleichzeitige Stromabgabe 1550 KW., welche Leistung im November letzten Jahres bereits auf 1920 KW. = 2880 PS. gestiegen ist. Den Verlauf und die Schwankungen der Stromabgabe an Tagen des größten Konsums (30. Dez. 1901, 1902 und 1903) veranschaulicht die vorerwähnte Abbildung 226. (Schweiz. Bauztg. Bd. XLIII.)

1) E. T. Z. 1904.

Diesen bedeutenden Ansprüchen an die Leistungsfähigkeit könnte das Werk, auch in wasserreichen Jahren ohne Weiher natürlich bei weitem nicht genügen, immerhin fand an etwa 200 Tagen des Jahres 1902/03 Überlauf statt, während an andern 110 Tagen dem Weiher für den mangelnden Zufluß Ersatz entnommen werden mußte.

Der Wasserspiegel bewegte sich im allgemeinen derart, daß er abends etwas unter Überlaufkante stand, um während der Nacht jeweils wieder die volle Höhe zu erreichen.

Die Unterhaltungskosten der baulichen Teile des Werkes sind außerordentlich geringe und beschränken sich im allgemeinen auf unbedeutende Reparaturen an Zugangswegen.

Die Stadt Schaffhausen a. Rh. erwarb im Jahre 1898 die einer privaten Wasserwerksgesellschaft gehörenden beiden Wasserkraftwerke am Rhein und baute sie in den Jahren 1899 bis 1901 mit einem Kostenaufwand von 1460000 Mk. zu einer Leistungsfähigkeit von 2700 PS. aus. Der leitende Grundgedanke bei dieser Erwerbung war, daß der Reingewinn nicht der Stadtkasse zu gute kommen, sondern zur Förderung und Hebung öffentlicher Unternehmungen wie Beleuchtung, Straßenbahnen, Pumpwerken usw. verwendet werden sollte. Die Verwertung des elektrischen Stromes sollte vor allem in der Industrie Schaffhausens stattfinden. Anfang des Jahres 1901 wurde der Betrieb der neuen Anlagen eröffnet und im Jahre 1903 war bereits alle verfügbare Kraft vergriffen. Neuerdings ist die Erweiterung des Werkes beschlossen (s. S. 96). Dies Werk wird als ein glänzendes Zeichen städtischen Unternehmungsgeistes angesehen, aus dem die Industrie Schaffhausens wie die Stadt selbst (Straßenbahnbetrieb) großen Vorteil zieht.

Aus dem Beleuchtungsnetz wird die elektrische Energie für technische Zwecke, zum Betrieb von Elektromotoren und sonstigen nicht zu Beleuchtungszwecken dienenden Maschinen zum Grundpreise von 18 Pf. für die Kilowattstunde abgegeben. Dieser Preis gilt nur in der Nacht von 12 Uhr ab und bis zum Eintritt der Abenddämmerung. Der Lichtpreis beträgt 48 Pf. für die KW.-Stunde, bei stärkerem Verbrauch erfolgt Ermäßigung. Der Mindestpreis für 1 Anschlußkilowatt beträgt bei Kraft 40 Mk., bei Licht 29 Mk. fürs Jahr [1]).

Die Stadt Genf besitzt neben dem alten Werke von Coulouvrenière, das mit Druckwasserverteilung arbeitet (s. S. 313; 3800 PS.), das in den Jahren 1893 bis 1898 errichtete hydro-elektrische Werk von Chèvres, an der Rohne 7 km unterhalb der Stadt belegen. Dieses Kraftwerk besitzt eine Leistungsfähigkeit von 12000 bis 18000 PS. Die Kosten des Werkes haben 6,9 Mill. Mk. betragen. Im Jahre 1899 wurden 5000 PS. für elektrochemische Zwecke, 4500 PS. für Kraft und Licht und 1850 PS. für besonders angeschlossene Werke, im ganzen 11430 PS. verteilt. Der Preis für Lichtstrom beträgt 65 Pf. für die Kilowattstunde, für Kraftstrom 6,5 bis 20 Pf. für die gleiche Einheit. Die Ergebnisse der ersten Betriebsjahre sind in nachstehender Tabelle 53 zusammengestellt.

Mit solchen Einnahmen erscheint die Wirtschaftlichkeit erzielt. Denn die Reineinnahmen des Jahres 1900 ergaben eine Verzinsung von 4 v. H. des aufgewendeten Kapitals [2]). Die gesamten Wasserkraftanlagen der Stadt Genf (Coulouvrenière u. Chèvres) haben ungefähr 17,8 Mill. Mk. gekostet. Die von diesen Werken gelieferte Kraft reicht aber nicht mehr hin, den vorhandenen Bedarf zu decken und eine neue Kraftanlage an der Rhone unterhalb Chèvres ist geplant.

---

1) Die Elektrizitätswerke und die Straßenbahn der Stadt Schaffhausen. Zürich 1903.

2) De la Brosse, Inst. Hydro-Él. Siehe auch: Notes et Croquis Techniques sur Genève. Genève 1902.

Tabelle 53. Betriebsergebnisse des Kraftwerkes Chèvres.

Jahr	Gesamt-Einnahme Mk.	Ausgaben Mk.	Rein-Einnahme Mk.	Erzeugte Kilowattstunden
1897	145 000	89 000	56 000	367 000
1898	218 000	105 000	113 000	9 517 000
1899	416 000	180 000	146 000	28 066 000
1900	511 000	239 000	272 000	31 112 000

Über den eigenartigen Betrieb des Wasserwerkes der Stadt Luzern s. Abschn. V, 2, A.

Bei der bedeutenden Stellung, die die schweizerischen Werke auf dem Gebiet der Wasserkraftnutzung einnehmen, wird schließlich eine Übersicht der Tarife und der finanziellen Betriebsergebnisse einer Reihe größerer Anlagen, wie sie in Tab. 54 und 55 gegeben ist, interessieren [1]).

Bemerkenswert ist die Steigerung der Dividenden des Werkes von Rheinfelden und eines Lombardischen Unternehmens, zu dem die Werke von Vizzola und Turbigo gehören. Es betrugen die Dividenden

	1897	1898	1899	1900	1901	1902	1903	1904	1905	
Rheinfelden	4	4	5	5	5,5	5,5	6	6,5	7	v. H.
Lombardische Gesellschaft	—	—	—	5	5	7	8	9	10	v. H.

Es mögen zum Schlusse noch die Betriebsergebnisse eines Wasserkraftunternehmens in Frankreich erwähnt werden, das auf dem Gebiete der neuen hydraulischen Kraftnutzung eine bedeutende Erscheinung ist.

Das Kraftwerk von Jonage, ein Niederdruckwerk an der Rohne von rd. 20000 PS. mittlerer Leistung, versorgt die Stadt Lyon und Umgebung mit Kraft und Licht (s. S. 93). Die gesamten Baukosten einschließlich der elektrischen Übertragung mit einem Verteilungsnetz von 330 km haben 40 Mill. Mk. betragen. Man war in den beteiligten Kreisen anfänglich beunruhigt, ob der bedeutende Geldaufwand — 1 PS. bedingte 2000 Mk. Anlagekosten — wirtschaftlich richtig sei. Aber schon nach 3jährigem Betriebe erwiesen sich im Jahre 1906 die Befürchtungen als nicht begründet. Es wurden damals 1 000 000 Lampen bedient und 7000 PS. als Kraft verteilt. Die Reineinnahmen im Jahre 1901 erreichten die Höhe von 2 Mill. Mk. oder rd. 4 v. H. des Anlagekapitals. Dabei befanden sich die Einnahmen in schnell aufsteigender Linie und waren:

1898	136000	Mk.
1899	453000	»
1900	1192000	»

Die Verkaufspreise der elektrischen Energie betragen 17 Pf. für eine Pferdekraftstunde bei Abnahme von $^1/_{10}$ PS. und gehen herunter bis auf 6 Pf. bei Stärken von 50 PS. Der Lichtstrom kostet 45 bis 52 Pf. für die Kilowattstunde [2]).

1) Schweiz. Bauztg. 1906.
2) De la Brosse. Inst. Hydr. Él.

Tabelle 54. Tarife schweizerischer Wasserkraft-Elektrizitätswerke.

Elektrizitätswerk	Gesamtleistung	Preis der Jahrespferdekraft für 3000 Stunden und eine Motorengröße von			
		1 PS.	10 PS.	50 PS.	100 PS.
	PS.	Mark			
Ville de Genève[1])	19 000	320	214	138	112
Rheinfelden[2])	18 500	166	157	142	133
Beznau	9 300	172	157	135	128
Hauterive	7 200	200	157	140	145
Lausanne	6 440	320	224	172	172
Kanderwerk	6 000	196	168	—	—
Montbovon—Romont	5 400	200	157	—	145
Hagneck	5 200	168	140	—	116
Thusis	3 820	200	160	135	—
Olten—Aarburg	3 200	176	160	135	—
Neuchâtel	2 850	240	176	130	130
Chaux de Fonds	2 750	256	—	168	—
Sihlwerk	2 300	400	232	144	—
Schwyz	2 000	168	152	130	120
Aare-Emmelkanal	—	296	160	—	—
Elektrizitätswerk Bex	2 400	192	144	—	—
Bern	—	218	170	140	128
Basel	—	176	176	176	176

Tabelle 55. Finanzielle Betriebsergebnisse schweizerischer Wasserkraft-Elektrizitätswerke.

Name des Werkes	Zahl der Betriebsjahre	Dividende des Aktienkapitals im Mittel v. H.	Tilgung u. Rücklage in Hundertsteln des Aktienkapitals v. H.	Beide Posten zusammen v. H.
Olten—Aarburg	5	5,1	2,3	7,4
La Goule	10	3,7	1,6	5,3
Sihlwerk	11	4,0	2,2	6,2
Rathausen	8	4,9	3,4	8,3
Kubel	4	4,25	1,4	5,65
Motor	8	4,0	1,8	5,8
Rheinfelden	6	5,7	1,25	6,95
Societé Grand. Eaux	4	5,5	3,0	8,5
Lonza	7	3—6[3])	—	—
Usine des Clées, Yverdon	8	5,0[3])	—	—
Wynau	1	4,0[3])	5,0	9,0

1) Näheres, auch über den Betrieb des Werkes, De La Brosse, Install. Hydro-El.

2) Näheres über den Tarif und Betrieb des Werkes in »Beiträge zur Hydrographie des Großh. Baden«, XII. Heft 1906.

3) 1905.

D. Vergleich zwischen Wasser- und Wärmekraft in ihrer wirtschaftlichen Bedeutung.

In Vergleichen über die Wirtschaftlichkeit von Wasser- und Dampf- oder anderen Wärmekraftanlagen wird vielfach betont, daß es lediglich die Ersparnis an Brennstoff sei, die zugunsten der ersteren ins Feld geführt werden könne. Aber diese Kosten fallen schon wesentlich ins Gewicht und werden bis auf 50 und 70 v. H. der gesamten unmittelbaren Betriebskosten der Kilowattstunde in dampfbetriebenen Einzelelektrizitätswerken beziffert. Zudem ist der Verbrauch und Verlust an Schmieröl bei den Dampfmaschinen wesentlich größer. Nach der Statistik der öffentlichen Elektrizitätswerke stellen sich in Dampfanlagen die Betriebskosten wie folgt:

Tabelle 56. Übersicht über die Verteilung der unmittelbaren Betriebskosten in öffentlichen Elektrizitätswerken; in Pfennigen für die nutzbar abgegebene Kilowattstunde[1]).

Stadtgröße Einwohner	Mittlere Maschinenleistung in Kilowatt	Brennmaterial	Schmiermaterial	Gehälter und Löhne	Unterhaltung	Gesamte unmittelbare Betriebskosten
Bis 10000 E.	150	11,0	0,8	5,6	1,2	20,0
10000 bis 30000 »	150 bis 420	8,6	0,88	7,1	1,86	23,3
30000 » 50000 »	420 » 700	6,45	0,67	5,1	2,3	17,5
50000 » 150000 »	700 » 2000	6,37	0,65	4,9	1,16	16,27

Man ersieht aus dieser Tabelle, daß man für kleinere Werke etwa 11 Pf. für die nutzbar abgegebene Kilowattstunde an Kohlenkosten in Ansatz zu bringen hat. Mit der zunehmenden Maschinenleistung gehen diese Kosten herab und betragen bei großen Werken etwa 4 bis 5 Pf. für 1 K.W.-Stunde.

Zum Anhalt dafür, wie groß der Anteil der Kosten des Dampfes bei Dampfmaschinen ist, mag die nachstehende Tabelle 57 dienen.

Aber es sind bei einem solchen Vergleiche zwischen Wasser- und Wärmekraftanlagen noch eine Reihe von Umständen zu berücksichtigen, die zum Teil mit dem inneren Betriebe des Kraftwerkes, zum Teil mit der Gestaltung der Kraftabgabe an die Verbraucher im Zusammenhang stehen.

1) Nach Hoppe, Was lehren die Statistiken?

Man wird für den Vergleich 4 Hauptpunkte hervorheben dürfen: die Betriebsfähigkeit und Betriebssicherheit, die Anpassungsfähigkeit an den Arbeitsbetrieb und die Marktlage, den Wirkungsgrad und die Selbstkosten der erzeugten Energie.

Allgemein wird man sagen können, daß der Betrieb der Wasserkraftwerke einfacher und reinlicher ist als bei den Wärmekraftwerken.

Tabelle 57. Anteil der Kosten des Dampfes an den Gesamtkosten bei Dampfmaschinen[1]).

Art der Dampfmaschine	Kosten des Dampfes für 1 PS.-Stunde Pf.	Gesamtkosten des Dampfmaschinenbetriebes (Betriebskosten + Zinsen und Tilgung) Pf.
Einzylindr. Auspuffmaschine		
bis 5 PS.	7,00	8,210
5 » 10 »	6,50	7,612
10 » 20 »	6,00	6,958
20 » 40 »	5,50	6,306
40 » 70 »	5,00	5,707
70 » 100 »	4,50	5,137
100 » 150 »	4,00	4,571
Einzylindr. Kondensationsmaschine		
bis 30 PS.	3,75	4,422
30 » 60 »	3,50	4,135
60 » 100 »	3,25	3,814
100 » 150 »	3,00	5,505
150 » 200 »	2,75	3,221
Verbundmaschine mit Kondensation		
bis 50 PS.	2,50	3,160
50 » 100 »	2,375	2,919
100 » 200 »	2,250	2,706
200 » 300 »	2,125	2,544
300 » 400 »	2,000	2,388
400 » 500 »	1,875	2,233

Die Kesselanlage und andere Nebeneinrichtungen wie Pumpen, Injektoren, Kondensatoren fallen fort und damit ihre Bedienung und die Förderung der Kohle und die Beseitigung der Asche, sowie eine Reihe von Gefahrstellen für Betriebsstörungen. Es wird dadurch an Menschenkraft gespart, und dieser Gesichtspunkt ist doch sehr wesentlich. Das hydraulische Kraftwerk von Sault St. Marie (Mich.), das rd. 46000 PS. stark ist,

1) Nach Hoppe, Berechnungen von Betriebskosten.

wird bedient von einem Betriebsleiter, einem Maschinenmeister und 4 Arbeitern. Ein Dampfwerk von der gleichen Größe würde etwa 380 t Kohlen täglich verbrauchen und wahrscheinlich 100 Mann zum Betriebe erfordern [1]). Die baulichen Anlagen beanspruchen bei den letzteren bei gleicher Leistung mehr Raum. Für die Dampfanlagen kommt andererseits in Betracht der Gewinn warmen Wassers oder Auspuffdampfes, wenn hierfür zu Heizzwecken oder in Färbereien Verwendung ist.

Zugunsten einer Wärmanlage spricht weiterhin folgender Umstand. Der Dampfmaschineningenieur kann seine Kraftleistung in gewissen Grenzen beliebig steigern. Der Hydrotekt ist an die beschränkten Größen der Abflußmenge und des Gefälles gebunden. Mit anderen Worten: die Dampfmaschinenanlage kann sich dem auftretenden Verbrauch durch vermehrten Ausbau unschwer anpassen. In der Ausnutzung der Wasserkräfte aber wird der Verbrauch sich nach der zur Verfügung stehenden Energie einrichten müssen. Das wird unter vielen wirtschaftlichen Verhältnissen ein ausschlaggebendes Moment für die Bevorzugung einer Wärmekraftanlage sein.

Mit Recht wird darauf hingewiesen, daß bei Wasserkraftmaschinen das persönliche Element, das in der Aufsicht über die laufenden Betriebskosten liegt, praktisch fortfällt. Ihr Wirkungsgrad ist nicht oder weniger abhängig von der Sorgfalt der Bedienung — der Wärter hat nur die Schützen zu öffnen und zu schließen. Der Lauf der Maschinen regelt sich selbst und das Werk läuft gleichsam selbsttätig. Das trifft bei Dampfanlagen nicht zu. Hier erfordert Kessel wie Dampfmaschine ständige Aufmerksamkeit und die Kosten für Brennstoff hängen in hohem Maße davon ab, wie der Wärter seine Schuldigkeit tut. Deshalb darf man zum Vergleich mit Wasserkräften nicht die Versuchsergebnisse von tadellos ausgeführten und ökonomisch in Pflege gehaltenen Dampfmaschinen heranziehen, sondern man muß mit mittleren Verhältnissen des praktischen Betriebes hinsichtlich der Kohlenbeschickung und sonstigen Wartung und Betriebsleitung rechnen — wie sie eben in gewöhnlichen Betrieben obwalten.

Weiterhin werden beim Vergleich der Einheitspreise mechanischer Kräfte mancherlei Fehler insofern gemacht, als die Stelle der Abgabe, auf welche sich der Preis bezieht, und ebenso die Zeit, für welche

1) The Engineering Magazine April 1907.

eine Kraft zur Verfügung steht, nicht immer klar hervortreten. Es ist ein Unterschied, ob der Preis sich auf die Rohkraft, die Abgabe an der Turbinenwelle, am Dynamo oder Motor im Kraftwerk oder dessen Nähe oder am Motor in der entfernten Werkstatt des Verbrauchers bezieht, ferner, ob die Berechnung einen 10-, 12- oder ununterbrochenen 24-stündigen Arbeitsbetrieb zugrunde legt. Man vergleiche hierüber auch Abschn. III D.

Eine Betriebskraft in abseitsgelegenen Tälern wird billiger sein müssen als in Mittelpunkten des gewerblichen Lebens, wenn sie mit letzteren wettbewerbfähig sein soll. Man muß sich vergegenwärtigen, daß die Rohstoffe z. B. in der Eisenindustrie in die Täler oft unter schwierigen Verkehrsverhältnissen geschafft und die fertigen Waren für den Absatz nach den Plätzen des Verbrauchs geliefert werden müssen. Die Herstellung in jenen entlegenen Arbeitsstätten — und entsprechend die Kosten der mechanischen Kräfte — werden also um den summierten Preis der Förderkosten billiger ausfallen müssen als in den Städten, sofern der Preis der benötigten menschlichen Arbeitskräfte in beiden Fällen gleich ist oder die Ausgaben hierfür nicht von wesentlichem Einfluß sind. Pfuhl schätzt die durch diesen Transport von und zur nächsten Eisenbahn entstehenden Mehrkosten bei kleinen Wasserkraftanlagen bis 540 PS. auf etwa 25 v. H. der sonstigen Betriebskosten, bei größeren Anlagen von 4000 bis 9000 PS. auf 6 bis 9 v. H. [1]). Günstiger wird die Lage allerdings dort, wo die gefundenen Rohstoffe unmittelbar verarbeitet werden können.

Ein Beispiel sei angeführt, das diese Verhältnisse erläutert. Während die Triebwerke an der durch Talsperren regulierten Wupper die an der Turbinenwelle gemessene Pferdekraft bei 10stündigem Betrieb an 300 Arbeitstagen mit 80 bis 120 Mk. für das Jahr bezahlen, wurden in dem nahegelegenen Köln bei Kleinabgabe der Kraft aus dem städtischen Elektrizitätswerke für 1 Kilowattstunde im Durchschnitt erzielt 1899/00 40,1 Pf., 1900/01 40,2 Pf., 1901/02 32,5 Pf. Legt man den letzteren Preis zugrunde, so stellen sich die Kosten von 1 PS. in Köln bei 3000 Arbeitsstunden auf 975 Mk. Es erhellt ohne weiteres, wie unter solchen Umständen die Kosten und Kraftverluste der Fernübertragung auf etwa 40 km von der Wupper nach Köln ausgeglichen würden.

---

1) Rigaische Industrie-Zeitung 1907, S. 85.

Je größer der Preisunterschied in den Selbstkosten zwischen der im entlegenen Gebirgstale gewonnenen Wasserkraft und der im Mittelpunkt des Verbrauchs erzeugten Dampfkraft ist und je teurer in einem Lande die Kohlen sind, desto längere Strecken werden durch die elektrische Übertragung wirtschaftlich überwunden werden können und um so höher wird sich der Aufwand stellen dürfen, um durch Kabelverlegung, dop-

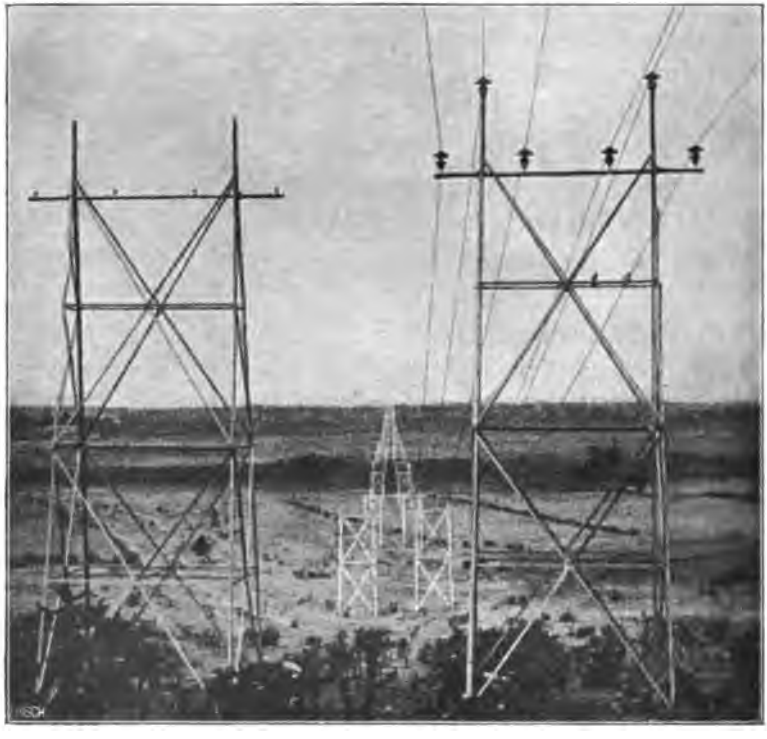


Abb. 227. Fernleitung auf doppeltem Gestänge für die Necaxakraftanlage in Mexiko. Die Türme sind 17 m hoch und stehen in Entfernungen von 150 bis 420 m. Übertragungsspannung 60000 Volt. Fernleitung von 50000 PS. auf 280 km.

peltes Gestänge der Hochspannungsleitungen (Abb. 227) und andere Hilfsmittel die Verläßlichkeit im Betriebe von hydroelektrischen Werken zu steigern. Ein interessantes Feld für derartige Betrachtungen bietet u. a. die Wasserkraftnutzung in Italien, in der Schweiz, an der Westküste der Vereinigten Staaten von Nordamerika und in Süd- und Mittel-

amerika, wo die »weiße Kohle« der Berge den Kampf mit der infolge der Steinkohlenarmut teuren Dampfkraft erfolgreich durchführt.

In den Statistiken oder Berechnungen über die Einheitspreise der Dampfpferdekraftstunde finden sich meist keine Angaben über die Dauer des Betriebes. Aber es ist diese naturgemäß sehr von Bedeutung. Dort wo ein dauernder Betrieb, sei es durch Tag und Nacht oder nur am Tage, stattfindet, wird, sofern er sich gleichmäßig über das ganze Jahr fortsetzt, der Einheitspreis in einer Wärmekraftanlage billiger ausfallen, als wenn der Kraftbedarf schwankt und zeitweise ganz unterbrochen ist, vielleicht nur für einige Stunden am Tage vorhanden ist. Auch in diesem Falle müssen Kessel und Dampfmaschine und Wärter ununterbrochen tätig oder wenigstens bereit sein und der Kohlenverbrauch stellt sich ungünstig. Die Maschinen können auch über Nacht nicht oder nicht voll zur Abstellung gelangen. Dazu kommt, daß jede Einzeldampfmaschine für die mögliche Höchstleistung ausgebaut werden muß, so daß sie bei geringerer Belastung weniger vorteilhaften Wirkungsgrad hat. Eine 250 PS.-Dampfmaschine erfordert fast den vollen Dampf — also Kohlenverbrauch — gleichgültig wieviel PS. wirklich nutzbar arbeiten. Wenn z. B. nur 125 PS. genutzt werden, so stellen sich die Kosten der arbeitenden PS. ziemlich auf das Doppelte der erzeugten PS. Die elektrische Kraft hingegen darf bei Bezug aus einem zentralen Werke nur für die Stunden bezahlt werden, in denen der Motor tatsächlich arbeitet. In diesem Umstande liegt es begründet, daß sich bei nur zeitweisem Gebrauch die elektrische Kraft selbst bei höheren Einheitspreisen vorteilhafter gestaltet als die Dampfkraft.

Die besonderen Vorteile des elektrischen Kleinmotors sind in der »Bekanntmachung« S. 405 hervorgehoben. Es soll allerdings nicht unterlassen werden hervorzuheben, daß diesen Vorzug der steten Betriebsbereitschaft und der Bezahlungsart auch der Gasmotor besitzt.

Eine wie große Belastung des Kleingewerbes dabei immerhin stattfindet, zeigt folgende Überlegung. Nach den auf Seite 416 angegebenen Ermittlungen von Hoppe beträgt die mittlere Einnahme aus Licht und Kraftstrom bei deutschen öffentlichen Elektrizitäts-Werken 31 bis 32 Pf. für 1 K.W.-Stunde. Rechnet man nur 30 Pf., so ergibt dies für ein ununterbrochen arbeitendes Kilowatt $24 \cdot 365 \cdot 0{,}3 = 8760 \cdot 0{,}3 = 2628 \sim 2600$ Mk. Einnahme. Ohne nun die Frage der Rentabilität der Kraftwerke selbst zu berühren, so ist doch sicher, daß von der Ge-

samtheit der Abnehmer für die Leistung von 1 K.W. im Jahre 2600 oder für 1 PS. ~ 1900 Mk. bezahlt werden. Wenn zwar, wie an obiger Stelle angegeben ist, der einzelne kleine Gewerbetreibende selbst bei diesen hohen Preisen noch immer Vorteil aus der Kleinverteilung der Kraft zieht und billigere Kraft hat, als wenn er selbst kleine mit Unterbrechungen arbeitende Maschinen aufstellt, so wird man doch zugeben, daß die Gesamtheit der Kleingewerbetreibenden immer noch sehr viel ungünstiger dasteht, als eine mit einer großen Dampfmaschine arbeitende Fabrik. Rechnen wir hier selbst 5 Pf. PS.-Stunde, so ergeben sich erst $8760 \cdot 0{,}05 = 438{,}00$ Mk., also nur etwa $^1/_5$ des obigen Kraftpreises. Es ist ohne weiteres ersichtlich, wie durch diesen Umstand das Kleingewerbe immer noch im Nachteil ist gegenüber der Großindustrie.

Wenn man nun erwägt, daß die öffentlichen Elektrizitätsgesellschaften bei diesen ansehnlichen Einheitspreisen heute meist keine ungewöhnlich hohe Rente abzuwerfen pflegen, so wird man vermuten dürfen, daß in der mangelhaften Ausnutzung der Betriebsanlagen, dem schwankenden Kraftbedarf, den dadurch bedingten vermehrten Gebäuden und Maschinenanlagen gegenüber einem gleichmäßigen Betrieb, dem geringen Belastungsfaktor und sonstigen Verlusten der Grund liegt, warum die Preise der öffentlichen Elektrizitätswerke so hoch sein müssen, wenn die Wirtschaftlichkeit dieser Unternehmungen noch einigermaßen sichergestellt sein soll.

Die Einheitskosten der Wasserkräfte sind im wesentlichen von den Anlagekosten abhängig, wie schon oben bemerkt. Die beweglichen Kosten treten gegenüber den Aufwendungen für Verzinsung und Tilgung des Baukapitals mehr zurück und sie sind unabhängig von den Schwankungen des Industriemarktes, die den Preis der Kohle beeinflussen. Darin liegt ein Vorzug gegenüber den Wärmekräften, der in Zukunft mit den steigenden Kohlenpreisen sich mehr und mehr geltend machen wird. Aber es folgt daraus auch, daß diese Kraft, die an sich die Natur frei stellt und immer wieder ergänzt, noch in höherem Maße als bei Dampfanlagen, um so vorteilhafter wird, je gleichmäßiger ihre Ausnutzung stattfindet. Darin besteht ein gewisser Gegensatz zu den Wärmekraftmaschinen, deren Betriebskosten im Verhältnis zur Betriebsdauer stehen. Solche gleichmäßige Abnehmer der Kraft stellen in günstiger Weise die Gewerbe der Elektrochemie und es ist bemerkenswert, daß damit zum Teil das dezentralisierende Bestreben der Wasserkräfte aufgehoben wor-

den ist. Die Elektrochemie hat die Wanderung nach den Gewinnungsstätten der großen Wasserkräfte angetreten. Es ist dies im besonderen die Karbid- und Aluminiumindustrie, die Gewinnung von Eisen- und Mangansilikaten für die Glasbereitung und neuerdings die elektrische Stahlerzeugung. Am Niagarafall finden sich ungewöhnlich umfangreiche Fabrikanlagen dieser Art. Die Werke in der unmittelbaren Nähe des Niagara gebrauchen etwa 60000 PS. und ihr Bedarf ist das ganze Jahr über ohne Unterbrechung vorhanden. Der größere Teil der Kraft wird verwendet für metallurgische und elektrochemische Prozesse[1]). Solche Ansiedlungen chemischer Werke, die zu Dörfern ausgewachsen sind, sind, wie schon in Abschn. III D erwähnt, in Deutschland u. a. am Rheinfall bei Schaffhausen, bei Rheinfelden und Gersthofen vorhanden.

Wenn eine dauernd gleichmäßig arbeitende Großdampfmaschine gegenüber der kleinen Dampfanlage Vorteile für die Herabminderung der Einheitskosten der Kraft bildet, so hat doch auch der Betrieb eines zentralen Werkes, das viele Abnehmer mit nur zeitweisem Bedarf speist, eine Erscheinung gezeitigt, die ebenfalls in dem Sinne der Verbilligung und Vereinfachung wirkt.

Die Erfahrung hat erwiesen, daß niemals alle angeschlossenen Motore oder Lichtstellen im selben Augenblicke Strom brauchen. In einem weitverzweigten Betriebe wird das Werk im allgemeinen zu gleicher Zeit höchstens mit etwa 40 v. H. der angeschlossenen KW. in Anspruch genommen. Bei größeren Werken rechnet man nur 25 bis 33 v. H. Dieser Umstand ist für die Praxis und wirtschaftlich von ungemeiner Wichtigkeit. Man kann also mit einer Wasserkraft von bestimmter Größe, z. B. 1000 PS. den zweieinhalbfachen Bedarf, d. s. 2500 PS., in Einzelwerkstätten decken.

Zu gunsten der Verwendung der Wasserkräfte für elektrischen Lichtbetrieb tritt weiter hinzu, daß der größte Bedarf im Winter zeitlich mit dem Wasserreichtum zusammenfällt. Die Statistik städtischer Elektrizitätswerke erweist nun, daß im allgemeinen der Lichtverbrauch stärker als der Kraftverbrauch ist und das Verhältnis der Kraft- zur gesamten Stromabgabe für Kraft, Licht und öffentliche Beleuchtung bis 1 : 3 beträgt. Adams[2]) gibt für die Energieverteilung in den einzelnen Monaten

1) The Engineering Magazine, Dez. 1905.
2) Electric Transmission of Water Power. New York 1906.

bei zwei amerikanischen Wasserkraftanlagen folgende Werte in Hundertsteln an (Tab. 58):

Tab. 58. Verteilung der Energieabgabe auf die einzelnen Monate bei zwei amerikanischen Wasserkraftanlagen in Hundertsteln der Jahreserzeugung.

	Kraftwerk I 1901	Kraftwerk II 1899 und 1900	Bemerkungen
Januar	68,0	84,9	*) Der größte Verbrauch war im Dezember = 100 v. H. und betrug 527,700 K.W.
Februar	33,1	91,3	
März	80,5	98,5	
April	81,7	85,7	
Mai	77,9	80,8	Beim Kraftwerk II trat der größte Kraftbedarf im November ein und ist 100 v. H. gesetzt.
Juni	58,6	74,9	
Juli	67,7	68,8	
August	75,8	69,1	
September	79,3	73,3	
Oktober	65,9	53,1	
November	95,8	100,0	
Dezember	100,0*)	87,0	

Siehe ferner die Tabelle auf S. 449.

(Siehe auch die Tabelle 59.) Andererseits läßt die Tabelle 5 erkennen, daß von der gesamten Jahresabflußmenge im Durchschnitt etwa $^1/_4$ bis $^1/_3$ auf die Sommermonate April bis September und $^3/_4$ bis $^2/_3$ auf die

Tabelle 59. Verteilung der Stromabgabe im Jahresverlaufe[1]. Elektrizitätswerk Düsseldorf.

	v. H. der Jahresabgabe
Juli	3,8
August	4,5
September	6,8
Oktober	10,6
November	12,9
Dezember	15,5
Januar	13,2
Februar	10,4
März	8,7
April	5,8
Mai	4,5
Juni	3,5
	100,0

1) E. T. Z. 1896 S. 215.

übrigen Wintermonate entfällt. Dieser Kraftüberschuß in der Winterzeit kann vorteilhaft für die große Lichtbeanspruchung in den Abendstunden Verwendung finden. Diesem im Laufe weniger Stunden stark wechselnden Energiebedarf (Abb. 30 u. 226) vermag ein Wasserkraftwerk mit Ausgleichweihern — wie an anderer Stelle ausgeführt ist — durch Einschaltung einiger Turbineneinheiten leicht zu folgen, während in einem Dampfkraftwerk die vermehrte Anheizung der Kessel umständlicher ist.

In kurzen Worten soll noch auf einen Vergleich der Wirkungsgrade der Wasser- und Wärmekraftnutzung eingegangen werden.

Der Gesamtwirkungsgrad bei Ausnutzung der Wasserkraft in einer für den mechanischen Antrieb unmittelbar nutzbaren Form ist früher (S. 347) ohne Fernübertragung zu 0,685 und mit Fernübertragung zu 0,576 angegeben worden. Dagegen findet in gut arbeitenden Dampfmaschinen nur eine Verwertung von etwa 10 v. H. der Kohlenenergie statt. Bei dem obigen Wirkungsgrad von 0,685 ist außerdem zu beachten, daß dies die Nutzleistung in der Arbeitsmaschine ist. Will man die Dampfkraft an derselben Stelle in Vergleich ziehen, so muß man berücksichtigen, daß dann 15 v. H. Verlust für die elektrische Umsetzung innerhalb der Fabrik und im Arbeitsmotor entstehen. Dieser Verlust ist bei der heute noch vielfach üblichen Übertragung mittels mechanischer Antriebe — Riemen, Zahnradbetrieb usw. — wesentlich größer und je nach der Güte der Umsetzung ist hier der Wirkungsgrad zu 45 bis 78 v. H. anzunehmen. Weiter kommt hinzu der stark wechselnde Wirkungsgrad der Dampfmaschinen bei verschiedener Belastung. Für eine Dampfmaschine von 1000 PS. gelten etwa folgende Wirkungsgrade[1]).

Belastung	Nutzleistung in PS.	Wirkungsgrad in Hundertsteln
voll	794	79,4
$^3/_4$	544	72,5
$^1/_2$	294	58,5
$^1/_4$	44	38,1

Dem gegenüber arbeiten die Turbinen am vorteilhaftesten bei $^3/_4$ Belastung und die Verminderung für Leistungsfähigkeit bei voller und halber Beaufschlagung beträgt nur etwa 2 bis 5 v. H. Ebenso günstig verhält

1) The Engineering Magazine April 1907, S. 40.

sich der Generator, der von halber Belastung bis 50 v. H. Überlastung in seinem Wirkungsgrade im allgemeinen nicht mehr als 10 v. H. schwankt. Das Gleiche gilt von den Leitungen und Elektromotoren. Es ist daraus ohne weiteres ersichtlich, daß bei der Wasserkraftnutzung eine erheblich bessere Nutzung der natürlichen Energie stattfindet. Die Dampfkraftverwertung ist eine ungünstige Raubwirtschaft an der Kohle, die bei der Erschöpfbarkeit der Wärmekraftquellen — insbesondere der Kohlenlager — auf die Dauer sich stark fühlbar machen wird.

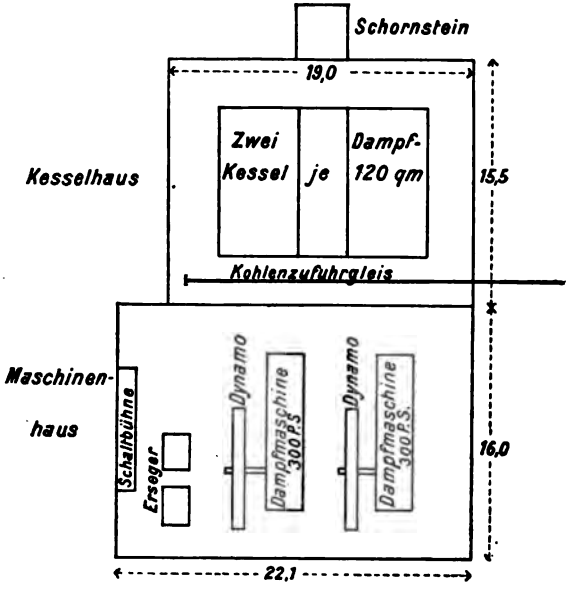


Abb. 228. Dampfkraftanlage für 600 PS. Leistung.

Es war der Zweck der vorstehenden Ausführungen, auf einige allgemeine Gesichtspunkte in dem Vergleich zwischen Wasser- und Wärmekraft hinzuweisen. Die Entscheidung im gegebenen Falle wird naturgemäß von genauen Kosten- und Ertragsermittelungen abhängen müssen, wofür im Abschnitt IV A und B Anhaltspunkte gegeben sind. Dabei wird man sich vergegenwärtigen müssen, daß wie schon an anderer Stelle hervorgehoben wurde, unter sonst gleichen Umständen diejenige Anlage am vorteilhaftesten erscheinen muß, bei der die Summe der Anlagekosten und der kapitalisierten direkten Betriebskosten am kleinsten ist.

Die folgenden Aufrechnungen, bei denen dem Verfasser ausgeführte

Anlagen als Unterlage gedient haben, werden hierbei zum Anhalt dienen können.

Ermittlung des Pacht- und Kapitalwertes einer Wasserkraft von 600 PS. in Form der Rohkraft (Wasserrecht) und als betriebsfähige Wasserkraftanlage.

A. Bau- und Betriebskosten einer Wasserkraftanlage von 600 PS. Leistung.

Baukosten.

Es sollen die Verhältnisse der Solinger Wasserkraftanlage zugrunde gelegt werden (s. S. 107) unter der Annahme, daß nur das Gefälle der Wupper — nicht das Hochdruckgefälle der Talsperre — nutzbar gemacht wäre. Das Kraftgebäude würde dann entsprechend kleiner, nur für die 600 PS. der Niederdruckturbinen auszubauen sein (Abb. 128). Im übrigen würden die hydraulischen Bauten, Wehr und Betriebskanal, die gleichen sein. Zur Verfügung stehen bei M.W. 12 cbm/sek. Das Gefälle beträgt dann 5 m. Die Arbeitsleistung an der Turbinenwelle $\frac{12\,000 \cdot 5 \cdot 0{,}75}{75} = 600$ PS.

Die Kosten stellen sich wie folgt nach Ausführungspreisen	Mk.
1. Grunderwerb	30 000
2. Wehr in Beton, 66 m lang, mit Einlaßschleuse	100 000
3. Betriebskanal, 1170 m lang, mit Brücke	120 500
4. Einführung des Ober- und Unterkanals am Kraftgebäude, Spülkanal	35 500
5. Kraftgebäude, 240 qm. je 350 Mk.	84 000
6. Turbinen für 600 PS. Leistung einschl. Laufkran und sonstiger Ausrüstung	60 000
Zus.	430 000

Betriebskosten.

	Mk.	
a) 12stündiger Betrieb an 300 Arbeitstagen.		
1. Zinsen der Ausgaben für den Grunderwerb, $3^1/_2$ v. H. von 30 000	1 050	
2. Verzinsung, Tilgung und Unterhaltung der hydraulischen Bauanlagen, 6 v. H. von 256 000	15 360	
3. Wie vorher für das Kraftgebäude, 7. v. H. von 84 000	5 880	
4. Wie vorher für die Maschinenanlagen, 10 v. H. von 60 000	6 000	
5. Für Wartung und Schmierung der Maschinen 600 · 12 · 300 = 2 160 000 Pferdekraftstunden, je 0,2 Pf.	4 320	
Zus.	32 610	~ 32 600
b) 24stündiger Betrieb an 300 Arbeitstagen.		
Mehr:		
Vermehrte Unterhaltung der Maschinen für den Nachtbetrieb 5 v. H. von 60 000	3 000	
Wartung und Schmierung während der Nacht für 2 160 000 Pferdekraftstunden, je 0,2 Pf.	4 320	
Zus.	39 930	~ 40 000

B. Bau- und Betriebskosten einer Dampfkraftanlage von 600 PS. Leistung (Abb. 228).

Die Baukosten sind ermittelt auf der Grundlage der Ausführungskosten des Wasserkraft-Elektrizitätswerkes Untertürkheim, das eine Dampfaushilfe von 600 PS. hat[1]).

1) W. Müller, Wehranlage und Elektrizitätswerk Untertürkheim.

Baukosten.	Mk.
Grunderwerb	4 000
Kraftgebäude für Maschinen und Kessel, 650 qm, je 130 Mk.	84 000
2 Dampfkessel für 600 PS. nebst Zubehör, je 120 qm Heizfläche, und Laufkran	42 600
2 Dampfmaschinen, je 300 PS. Leistung	64 400
Zus.	195 000

Betriebskosten.

a) 12stündiger Betrieb an 300 Arbeitstagen.

	Mk.
Zinsen der Ausgaben für den Grunderwerb, 3,5 v. H. von 4000	140
Verzinsung, Tilgung und Unterhaltung des Kraftgebäudes, 7. v. H. von 84 000	5 880
Wie vorher für die Maschinen, 10 v. H. von 107 000	10 700
Für Wartung und Schmierung der Maschinen, 2 160 000 Pferdekraftstunden zu 0,27 Pf.	5 832
Dampfverbrauch für 2 160 000 PS.-Stunden zu 2,1 Pf.	45 360
Zus. ~	67 900

Bem.: Die für große Anlagen in Städten üblichen Kosten des Dampfes (2,1 Pf./PS.-Stunde) werden für ein abgelegenes Dampfwerk im Gebirgstale mit schwierigen Förderverhältnissen der Kohle eher höher sein als angenommen.

b) 24stündiger Betrieb an 300 Arbeitstagen.

Vermehrte Unterhaltung der Maschinen, 5 v. H. von 107 000	5 350
Wartung und Schmierung, 2 160 000 Stunden zu 0,27 Pf.	5 832
Dampfverbrauch 2 160 000 PS.-Stunden zu 2,1 Pf.	45 360
Zus. ~	104 500

Zusammenstellung der Betriebskosten.

Betriebsart	Gesamte Betriebskosten in Mark	
	12stündiger Betrieb an 300 Arbeitstagen im Jahre	24stündiger Betrieb an 300 Arbeitstagen im Jahre
Wasserkraft	32 600	40 000
Dampfkraft	67 900	104 500
Ersparnis an Betriebskosten bei Ausbau der Wasserkraft	35 300	64 500

Der Miets- oder Pachtwert der Wasserrohkraft, d. i. der durch das Produkt *Qh* dargestellten Leistung, die auch als das »Wasserrecht« aufzufassen ist, ergibt sich unmittelbar aus der Ersparnis an Betriebskosten der beiden oben in Vergleich gestellten Betriebsarten. Dabei wird man allerdings zugunsten der Dampfkraft berücksichtigen müssen, daß man den Dampf im allgemeinen nur dann anmachen wird, wenn der Kraftbedarf wirklich vorhanden ist, während man für die ständig vorhandene Wasserkraft möglicherweise nicht immer Verwendung haben kann. Außerdem kommen die Schwankungen im Wasserabfluß hinzu. Teils wird die der obigen Berechnung zugrunde gelegte Mittelwassermenge nicht

vorhanden sein, teils wird bei Hochfluten das Wasser ungenutzt abfließen. Günstiger gestalten sich in dieser Hinsicht die Verhältnisse, wenn ein Sammelbecken als Akkumulator vorhanden ist. Man wird in letzterem Falle mit 75 bis 80 v. H. der Vollkraft als nutzbar rechnen können, während für ein Flußkraftwerk ohne Ausgleich der Wasserführung nur mit $^2/_3$ gerechnet sei. Danach ergeben sich die Ersparnisse für das Wasserkraftwerk zu $\frac{2}{3} \cdot 35\,300 =$ rd. 24 000 Mk. bezw. zu $\frac{2 \cdot 64\,500}{3} =$ rd. 42 000. Der Pachtwert für eine Pferdestärke beträgt danach bei 12stündigem Betrieb $\frac{24\,000}{600} = 40$ Mk. und bei 24stündigem Betrieb $\frac{42\,000}{600} = 70$ Mk. fürs Jahr.

Der Kapitalswert der rohen Wasserkraft berechnet sich nach obigen Gesichtspunkten durch Kapitalisierung der Ersparnis zu $\frac{35\,300 \cdot 100}{3{,}5 \cdot 600} \cdot \frac{2}{3} = \sim 1\,100$ Mk. für 1 PS., wenn ein 12stündiger Betrieb stattfindet, und zu $\frac{64\,5000 \cdot 100}{3{,}5 \cdot 600} \cdot \frac{2}{3} = 2050$ Mk. für 1 PS., wenn eine 24stündige Ausnutzung der Wasserkraft möglich ist.

Es entsteht die Frage, ob diese Wasserkraft, bei der die Rohkraft 1 100 Mk. bei 12stündigem Betrieb kostet, noch wirtschaftlich ist. Man wird die Antwort finden, wenn man sich die Einheitskosten für die Pferdekraftstunde berechnet.

Eine Wasserkraft, die als Rohkraft mit 1 100 Mk. bezahlt würde, stellt sich im Betriebe für 1 PS. bei 3600 Arbeitsstunden wie folgt:

	Mk.
1. Zinsen des Betrages für den Ankauf des Wasserrechts, 3,5 v. H. von 1 100	38,5
2. Gesamte Betriebskosten bei nur $^2/_3$ Ausnutzung der verfügbaren Wasserkraft $\frac{32\,600}{600} \cdot \frac{3}{2}$	81,4
Zus.	119,9 $\sim$ 120

oder für 1 PS.-Stunde $\frac{120 \cdot 100}{3600} \cdot = 3{,}3$ Pf.

Diese Erzeugungskosten sind etwa dieselben wie nach statistischen Ermittlungen die Selbstkosten in Dampfkraftwerken von gleicher Größe.

Diese Aufrechnungen tun dar, daß der Rohwert einer Wasserkraft nicht nur von den Anlagekosten abhängt, sondern daß auch die Art des Betriebes sehr wesentlich mitspricht. Der Wert wächst um so mehr, je länger die Betriebszeit am Tage und im Jahre ist. Das wird bei derartigen wirtschaftlichen Abschätzungen zu berücksichtigen sein. Immerhin wird man bei durchschnittlichen Aufrechnungen, wenn nicht die Möglichkeit einer längeren oder ununterbrochenen Ausnutzung gegeben ist, eine Betriebszeit von 12 Stunden in Ansatz bringen müssen. Wenn aber im Einzelfalle nach Lage der wirtschaftlichen Verhältnisse die Wasserkraft mehr als 12 Stunden und etwa bis 24 Stunden ausgenutzt wird oder werden kann, so wird dies in der Wertermittlung billigerweise in die Erscheinung treten müssen.

Der Kapitalswert der Wasserkraftanlage unter der Annahme, daß sich dieses Werk in einem guten baulichen und betriebsfähigen Neubauzustande befindet, würde sich aus der Summe der Baukosten der Dampfanlage und der Kapitalisierung des Unterschiedes der Betriebskosten der Dampf- und Wasserkraftanlage ergeben. Auf der Grundlage eines 12stündigen Betriebes berechnet sich dieser Kapitalswert im obigen Falle zu

$195\,000 + \frac{35\,300 \cdot 100}{3{,}5} \cdot \frac{2}{3} = 867\,000$ Mk. Bei einer älteren Wasserkraftanlage würde die Abnutzung des Werkes durch Verminderung des Neubauwertes im Verhältnis der eingetretenen Tilgung zu berücksichtigen sein.

Der Pachtwert dieser betriebsfähigen Wasserkraftanlage würde sich bei im Mittel 6,5 v. H. für Verzinsung und Tilgung auf $\frac{867\,000 \cdot 6{,}5}{100} = 56\,350$ Mk. oder für 1 PS. auf rund 94 Mk. stellen. Bei dieser Pachtsumme würde der Pächter auf der gleichen wirtschaftlichen Grundlage arbeiten, als wenn er eine Dampfanlage zu $\frac{195\,000 \cdot 8{,}0}{100} = 15\,600$ Mk. gepachtet hätte, wobei der Anteil für Verzinsung und Zilgung auf 8 v. H. bemessen ist.

Vergleichende wirtschaftliche Untersuchung über die Betriebsvereinigung eines Talsperrenkraftwerkes mit einer Wärmekraftaushilfe.

Nachstehend ein kurzes Beispiel, das zwar einem Einzelfalle entspricht und in seinem Ergebnis eine Verallgemeinerung nicht ohne weiteres zuläßt, immerhin aber die Hauptgesichtspunkte erkennen läßt, die für die Beurteilung der Frage in Betracht kommen, ob es vorteilhafter ist, die Aushilfe für eine Wasserkraftanlage in einer besonderen Dampfzentrale oder in dem Anschluß an ein vorhandenes, im Betriebe befindliches Dampf-Elektrizitätswerk zu suchen.

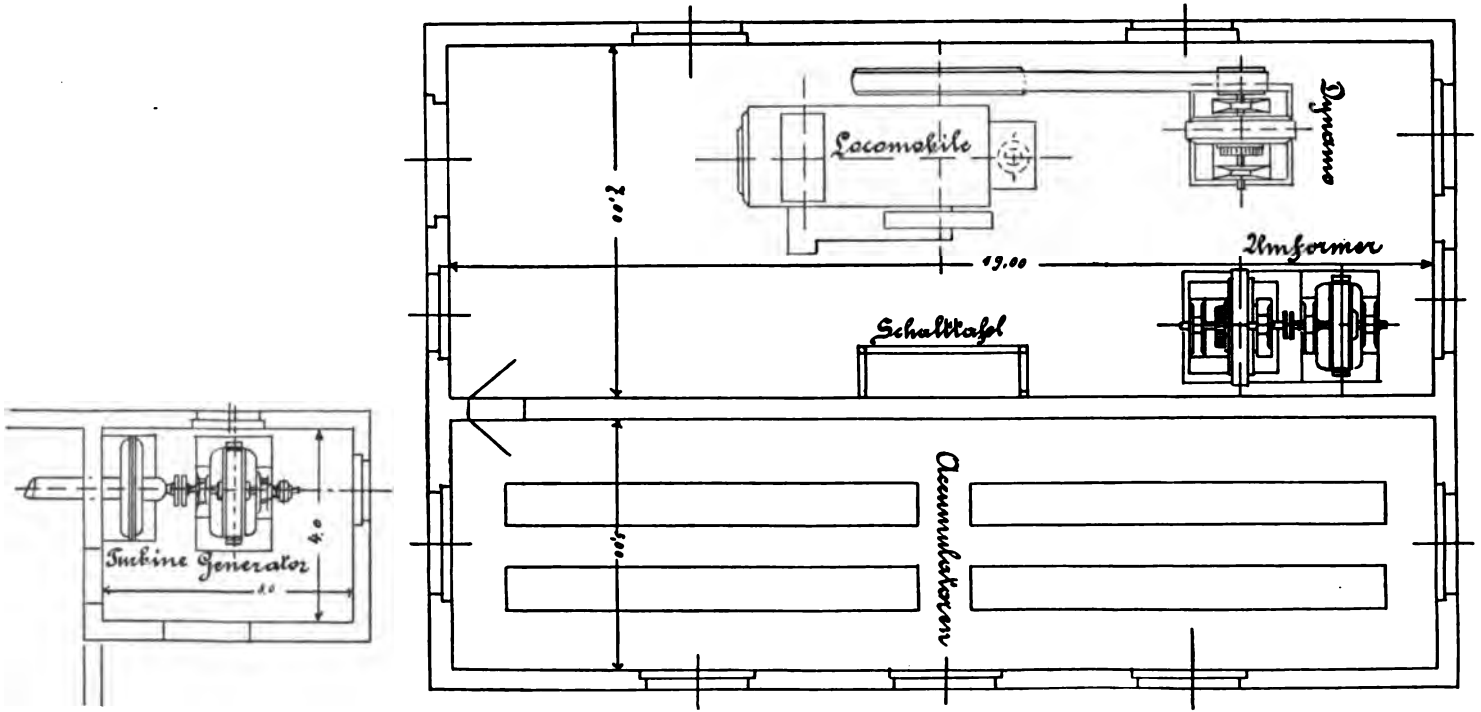
In den Verhandlungen der Stadt Nordhausen, die beim Ausbau ihres mit der Talsperre verbundenen Kraftwerkes mit der Staatsbahnverwaltung über die Bahnhofsbeleuchtung und die Stromversorgung der dortigen Werkstätten im Jahre 1904 gepflogen wurden, hielt es die Bahnverwaltung für notwendig, das Talsperrenkraftwerk mit einer gleichwertigen Reserve zu versehen. Wenn zwar der Gesamtbedarf des Bahnhofes mit etwa 200 000 KW.-Stunden aus der Talsperre gedeckt werden konnte, so überstieg der Höchstbedarf, der sich in den Abendstunden bis 100 KW. steigern konnte, die Leistung des Kraftwerkes. Diese beträgt an der Turbinenwelle im normalen Betriebe 95 PS. (s. S. 286), in der Höchstleistung 170 PS. an der Turbinenwelle. Es könnte an sich wohl Ausgleich durch eine Akkumulatorenbatterie geschaffen werden, aber eine weitergehende Sicherheit war durch eine volle Kraftaushilfe geboten. Es wurde angenommen, daß diese Aushilfe etwa 20 v. H. der Gesamtleistung zu übernehmen haben würde.

Es kamen zwei Möglichkeiten in Betracht: ein besonderes kleines Dampfwerk zu errichten oder das Talsperrenkraftwerk mit einem in der Stadt vorhandenen Dampfelektrizitätswerk durch Einschaltung einer elektrischen Kraftübertragung zwischen beiden Werken zu vereinigen.

1. Besondere Dampfaushilfe.

Das Kraftwerk auf dem Geiersberge von 170 PS. Höchstleistung sollte mit der elektrischen Einrichtung für Drehstromerzeugung ausgerüstet werden (Abb. 229a). Die Kraftübertragung nach dem Bahnhof auf 3 km war als Freileitung von 3000 Volt Spannung geplant. Hier erfolgte die Umformung der Hochspannung in Gebrauchsspannung (Gleichstrom). Verluste in der Fernleitung 5 v. H., in der Umformung 15 v. H. Leistung am Bahnhof 90 K.W. Normal bei 50 s/l Wasserentnahme 50 K.W.

In der Unterstation am Bahnhof (Abb. 229b) war eine Akkumulatorenbatterie vorgesehen, welche die Wasserkraft in den Zeiten größerer Beanspruchung zu ergänzen und außerdem als schnell betriebsbereite Aushilfe zu wirken hätte. Der Betrieb würde sich in



a. Grundriß des Talsperrenkraftwerkes (Primärstation).

b. Grundriß des Dampfkraft-Aushilfwerkes (Sekundärstation).

Abb. 229a und b. Betriebsvereinigung eines Talsperrenkraftwerkes mit einer Wärmekraftaushilfe [1]).

1) Nach einem Vorschlage der El.-Akt.-Gesellsch. vorm. Schuckert & Co.

der Weise zu vollziehen haben, daß in den Tagesstunden neben der Versorgung des Werkstättenbetriebes auf dem Bahnhof die Ladung der Akkumulatorenbatterie zu erfolgen hätte, während in den Abend- und Nachtstunden vor allem Strom für die Beleuchtung des Bahnhofs zu liefern wäre. Als Betriebskraft für die Reserveanlage sollte hier eine Lokomobile aufgestellt werden, die eine Gleichstrommaschine antreibt. Die Leistung dieser Dynamomaschine war etwa gleich der mittleren Wasserkraft, also etwa zu 70 bis 80 K.W., demnach die Leistung der Lokomobile auf 120 PS. angenommen.

Die Kosten betrugen:	Mk.
1. Generatorstation auf dem Geiersberge	21 700
2. Fernleitung zum Bahnhof, 3 km	11 500
3. Umformerstation auf dem Bahnhof mit Lokomobile von 120 PS. und Akkumulatorenbatterie und Gebäude	86 800
Zus.	120 000

Betriebskosten:	
1. Bedienung zweier Anlagen auf dem Geiersberge und auf dem Bahnhof	5 000
2. Für Kohlen, Schmier- und Putzmaterialien	1 500
3. Batterie und sonstige Unkosten	2 500
4. Verzinsung, Tilgung und Unterhaltung der Bau- und Maschinenanlagen und Fernleitung, 10 v. H. von 120 000	12 000
Zus.	21 000

2. Vereinigung mit dem vorhandenen Elektrizitätswerk von 420 K.W. Maschinenleistung.

Es versprach Vorteil für die wirtschaftliche Ausnutzung der an sich nicht sehr bedeutenden Wasserkraft, wenn man alle irgend entbehrlichen Neuanlagen vermied und somit die Kosten für Stromleitungen, Aushilfe und Umformen auf das geringste Maß einschränkte. Die sehr ansehnlichen Kosten der Dampfaushilfe und Akkumulierung konnten erspart werden, wenn man vom Kraftwerk auf dem Geiersberge den Strom nach dem in der Stadt belegenen 1,5 km entfernten Elektrizitätswerk in der Gebrauchsspannung hinleitete. Die Wasserkraft wurde damit zu einer Verstärkung der vorhandenen Dampfmaschinenleistung. Die eigentliche Versorgung des Bahnhofs sollte nunmehr von dem Dampfelektrizitätswerk geschehen (Abb. 100 u. 154 bis 158).

Die Kosten wurden ermittelt wie folgt:	Mk.
1. Generatorstation auf dem Geiersberge	21 700
2. Kraftübertragung Geiersberg-Elektrizitätswerk-Bahnhof	17 000
3. Umänderungen in der Dampfzentrale	15 000
Zus.	53 700

Betriebskosten.	
1. Kosten für Kohlen, Schmier- und Putzmaterialien	1 500
2. Verzinsung, Tilgung und Unterhaltung der Bau- und Maschinenanlagen und der Fernleitung, 10 v. H. von 53 700	5 370
3. Betrieb des Kraftwerkes auf dem Geiersberge	2 500
Zus.	9 370

Für die Bedienung in der Dampfzentrale sind Mehrkosten nicht in Ansatz gebracht. Ebenso ist von dem in diesem Werk investierten Kapital kein Mehrbetrag für Verzinsung, Tilgung und Unterhaltung berechnet. Das erscheint berechtigt. Dieses Werk ist 420 K.W. stark. Es kann also bei 24stündigem Betrieb im Jahre $420 \cdot 24 \cdot 365 = \sim 3{,}7$ Mill. K.W.-

Stunden leisten. Das Werk ist außerdem mit einer Akkumulatorenbatterie von 80 K.W. Leistung und einer Pufferbatterie von 140 K.W. Leistung ausgerüstet. Eine solche Anlage wird, ohne daß das Betriebspersonal verstärkt und die Unterhaltungsfonds der Baulichkeiten erhöht werden, unter den geschilderten Betriebsbedingungen die erforderliche, im Verhältnis unwesentliche Kraftleistung zur Unterstützung des Talsperrenkraftwerkes ohne weiteres ausführen können.

Die obenstehende Aufrechnung erweist die wesentliche Ersparnis an jährlichem Aufwand, wenn statt einer besonderen Dampfaushilfe das vorhandene Elektrizitätswerk mitbenutzt wird. Die Entscheidung fiel demnach auch für die letztere Betriebsvereinigung aus. Für das Dampfelektrizitätswerk entsprang daraus noch der besondere Vorteil, daß die Talsperrenwasserkraft mit für den Straßenbahnbetrieb und die Licht- und Kraftversorgung in der Stadt herangezogen und daneben ein günstiger Ausgleich in dem wechselnden Kraftbedarf der Einzelverbrauchsstätten erzielt werden konnte. Als Schlußergebnis ergab sich ferner eine erhöhte Rentabilität des in diesem Dampfwerk angelegten Kapitals.

Die wirtschaftlich vorteilhafteste Anlage.

Bei allen diesen Untersuchungen, wie überhaupt für die Beurteilung wirtschaftlicher Fragen, gilt der Grundsatz, daß man dahin streben soll, mit einem Minimum an Leistung ein Maximum an Werten zu schaffen. Es muß also unter sonst gleichen Umständen diejenige Betriebsanlage am vorteilhaftesten erscheinen, bei der die Summe der Anlage- und kapitalisierten unmittelbaren Betriebskosten am kleinsten ist.

Wenn man diesen Satz anwendet auf den oben durchgeführten Vergleich der 600 PS. Wasser- und Dampfkraftanlage, so erhält man für zwölfstündigen Betrieb:

$$\text{Wasserkraft: } \underset{\text{(Baukosten)}}{430\,000} + \underset{\substack{\text{(unm. Betriebskost.}\\ \text{einschl. Tilgung.)}}}{\frac{17\,535 \cdot 100}{3{,}5}} = 430\,000 + 501\,000 = 931\,000 \text{ Mk.},$$

$$\text{Dampfkraft: } 195\,000 + \frac{61\,075 \cdot 100}{3{,}5} = 195\,000 + 1\,745\,000 = 1\,940\,000 \text{ Mk.},$$

und für die vergleichende Aufrechnung der besonderen Dampfaushilfe oder der Vereinigung mit einem bestehenden Werke nach dem letzten Beispiel:

1) Besondere Reserve $\underset{\text{(Baukosten)}}{120\,000} + \underset{\text{(Betriebskosten)}}{\frac{16\,800 \cdot 100}{3{,}5}} = 120\,000 + 480\,000 = 600\,000$ Mk.,

2) Vereinigung $53\,700 + \frac{7490 \cdot 100}{3{,}5} = \sim 267\,700$ Mk.

Man erkennt aus diesen Zahlen ohne weiteres die vorteilhafteren Anlagen und ersieht ferner, wie bei allen solchen Unternehmungen die Betriebskosten die oft ausschlaggebende Rolle spielen.

Vergleichsrechnung für eine Wärme- und Wasserkraftanlage von 1000 PS. Nutzleistung.

v. Schon[1]) stellt eine Vergleichsrechnung auf für eine Wärme- und Wasserkraftanlage von je 1000 PS. Nutzleistung, deren Ergebnisse nachstehend mitgeteilt werden mögen. Die Betriebskosten der hydroelektrischen Anlage ergeben sich dabei um 25 v. H.

1) The Engineering Magazine, April 1907.

niedriger als für die Dampfanlage bei Annahme eines Brennstoffverbrauchs von 0,7 kg für 1 PS.-Stunde.

1. Baukosten für eine Anlage von 1000 PS.

Bauanlagen	Dampfkraft Mk.	Hydroelektrische Anlage einschl. Kraftübertragung auf 30 km Mk.
Gebäude bzw. hydraulische Anlagen . .	42 000	168 000
Kessel, Pumpen und Maschinen . . .	210 000	—
Turbinen und Generatoren	—	63 000
Fernübertragung auf rd. 30 km	—	168 000
Mechanische Betriebseinrichtung der Arbeitsmaschinen	21 000	—
Verteilungsnetz	—	42 000
Gesamte Baukosten	273 000	441 000

2. Betriebskosten für eine Anlage von 1000 PS.

A. 10stündiger Betrieb.

Betriebskosten	Dampfkraft Mk.	Hydroelektrische Anlage einschl. Kraftübertragung auf 30 km Mk.
Kapitalaufwendung, 5 v. H.	13 650	22 050
Brennstoff (10,5 Mk. für 1 t)	24 260	—
Wasser	2 380	—
Bedienung (3 Mann)	14 240	15 960
Schmierung	5 460	2 100
Unterhaltung und Abschreibung . . .	15 750	13 440
Abgaben	5 670	8 820
Versicherung	2 730	—
	84 140	62 370

Bei Annahme eines gewöhnlichen Wirkungsgrades für die nutzbare Kraftabgabe sind die Kosten für die Pferdekraft an der Maschine für 1 Jahr

	Dampfkraft Mk.	Wasserkraft Mk.
Bei 100 v. H. Belastungsfaktor . .	107	74
Bei 75 v. H. Belastungsfaktor . .	155	96
Bei 50 v. H. Belastungsfaktor . .	285	139

B. 24stündiger Betrieb. Es ergeben sich

Betriebsart	Dampfkraft Mk.	Wasserkraft Mk.
Gesamte Betriebskosten	130 500	80 500
Kosten für eine Jahrespferdekraft bei 100 v. H. Belastung	164	94

Es ist zu beachten, daß hier die an Ort und Stelle erzeugte Dampfkraft mit der auf 30 km geleiteten Wasserkraft in Vergleich gestellt ist. Man ersieht aus dieser Aufrechnung, daß die Erzeugungskosten der Wasserkraft wesentlich hinter denen der Dampfkraft zurückbleiben, obwohl die Baukosten der hydroelektrischen Anlage die des Dampfwerkes um 168000 Mk. übersteigen. Den ausschlaggebenden Einfluß üben die Kosten für das Feuerungsmaterial und die Schmierung aus, wogegen bei der Wasserkraft die Deckung des Kapitalaufwandes stark ins Gewicht fällt.

Dabei muß man sich vergegenwärtigen, daß die oben in Betracht gezogene Dampfkraft an der Maschinenwelle zur Verfügung steht. Das ist eine enge Gebundenheit. Die Arbeitsmaschinen müssen sich unmittelbar an die Welle in der Verlängerung anschließen. Bei Verteilung der Kraft selbst nur innerhalb eines Fabrikgebäudes mit Vorgelege, Seil oder Riemenantrieb entstehen Kraftverluste und eine Verteuerung der Kraft. Eine weitere Verteilung würde elektrische Übertragung bedingen. Die in Vergleich gestellte hydroelektrische Kraft steht — unter den oben angenommenen Bedingungen — in einem weiten Umkreise den Abnehmern an beliebiger Stelle und innerhalb eines Fabrikgebäudes an vielen Arbeitsbänken zur Verfügung. Dieser Vorteil — die bessere Anpassung an die Formen des Verbrauchs — soll hier in Zahlen nicht weiter verfolgt werden (s. S. 475). Aber über einen derartigen rechnungsmäßigen Vorteil hinaus hat wirtschaftlich sicherlich diejenige Kraft eine größere allgemeine Bedeutung, die ein großes Flächengebiet nutzbar überspannt, als solche, die an ein einzelnes Werk gefesselt ist.

Vergleichende Voruntersuchungen für eine Talsperren- und Wasserkraftanlage.

Es mag hier am Platze sein, aus den Voruntersuchungen für die Talsperren- und Wasserkraftanlage der Stadt Solingen einige Mitteilungen zu machen, weil die maßgebenden Gesichtspunkte und Voransätze hierzu der Erfahrung und aus Betriebsergebnissen entnommen worden sind. Den Ermittlungen — auf gleicher Grundlage für alle Projekte angestellt — kann somit in gewissem Maße allgemeinere Bedeutung beigelegt werden, und sie gewähren einen lehrreichen Einblick in den Vergleich zwischen Wasser- und Dampftriebkraft bei einem Unternehmen in deutschen Mittelgebirgsverhältnissen.

Diese Voruntersuchungen hatten zu der Erkenntnis geführt, daß die Versorgung der Stadt Solingen mit einem guten und gesunden Trink-

wasser sowohl aus dem Grundwasserstrom der Rheinebene oberhalb Düsseldorf wie durch Anlegung einer Talsperre im Gebirge erreicht werden konnte. Die technische Möglichkeit hierzu war für beide Fälle nachgewiesen, und besondere Schwierigkeiten standen der Ausführung an sich nicht entgegen. Im besonderen hatte man hinsichtlich der Güte des Wassers keiner der beiden Gewinnungsweisen den Vorzug gegeben; beide Versorgungsarten — Grundwasser und aufgestautes Oberflächenwasser — sah man als gut und gleichwertig an. Unter diesen Umständen mußte die finanzielle Prüfung und Klarstellung des Unternehmens den Ausschlag geben. Hierzu wurden vergleichende Kostenanschläge aufgestellt, wobei nicht nur die augenblichlichen Baukosten, sondern auch die bei einem Vergleich zwischen einer Wasserkraft- und Dampfanlage sehr ins Gewicht fallenden Betriebsunkosten in Rücksicht gezogen wurden.

Es kamen für die Ausgestaltung der Wasserversorgungsanlage folgende Möglichkeiten in Betracht:

I. Grundwassergewinnung in der Rheinebene oberhalb Düsseldorf.

Jahresleistung 2000000 cbm Trinkwasser. Förderhöhe von der Rheinebene bis zum Solinger Hochbehälter 216 m; Betriebshöhe 225 bis 230 m. Druckrohrlänge 19,5 km. Dampfmaschinen- und Pumpenanlage für 560 eff. PS. maximaler, 420 eff. PS. mittlerer Leistung.

Ergebnisse der Untersuchung:

Anlagekosten	1350000 Mk.
Betriebskosten für 4800 Stunden im Jahr:	
Während der Tilgung	136400 Mk.
Nach der Tilgung	86000 »
Es kostet 1 cbm gefördertes Wasser in Solingen:	
Während der Tilgung	6,8 Pf.
Nach der Tilgung.	4,3 »

II. Anlage eines Sammelbeckens von 3000000 cbm Stauinhalt im Sengbachtale 1 km oberhalb Glüder (siehe Abb. in Abschn. V, 2, H) für Trinkwasser- und Kraftgewinnung bis zur jährlichen Leistungsfähigkeit von 1480000 cbm Trinkwasser mit Wasserkraftwerk an der Wupper.

Um den Inhalt von 3000000 cbm zu schaffen, mußte an der für die Errichtung der Sperrmauer in Aussicht genommenen Stelle, wie Er-

mittlungen an der Hand der Meßtischblätter ergaben, ein Aufstau des Wassers von 35 m bewirkt werden. Die Talsohle lag dort auf + 112 NN., der Wasserspiegel des gefüllten Beckens also auf + 147 NN. (Abb. 6). Da der Wasserspiegel der Wupper bei mittlerem Hochwasser an der Kraftstation auf rd. + 84 NN. liegt, so stand vom Wasserspiegel des Talbeckens bis zu den Turbinen ein absolutes Gefälle von 63 m zur Verfügung, wovon abzüglich der Reibungsverluste in der nur kurzen Rohrleitungsstrecke etwa 62 m nutzbar gemacht werden konnten. Die Erfahrungen an der Talsperre im Eschbachtale bei Remscheid über die Wasserspiegelschwankungen des dortigen Sammelbeckens hatten gezeigt, daß der mittlere Wasserspiegel während des ganzen Jahres nicht sehr tief unter dem höchsten Wasserspiegel liegt. Es konnte hiernach für 35 m Stau eine Absenkung des mittleren Wasserspiegels um höchstens 10 m in Rechnung gestellt werden. Es stand also für die gesamte Wassermenge aus dem Talbecken ein Nutzgefälle von wenigstens 50 m für Triebzwecke zu Gebote. Vom mittleren Wasserspiegel des Beckens bis zum Hochbehälter in Krahenhöhe bei Solingen war das Wasser um etwa 130 m zu heben. Hiernach ergibt sich die erforderliche Wassermenge x, um den zukünftigen Trinkwasserbedarf von 2 Mill. cbm hochzupumpen, aus der Bedingung

$$x \cdot 50 \cdot 0{,}6 = 2000000 \cdot 130,$$

wobei aus 75 v. H. Nutzwirkung der Hochdruckturbinen und 80 v. H. für die Pumpen, 60 v. H. der Gesamtanlage in Ansatz gebracht wurde. Man findet $x = 8700000$ cbm. Diese Kraftwassermenge ist unter normalen Verhältnissen im Sengbachtale nicht vorhanden, da nach den Ermittlungen eine mittlere jährliche Abflußmenge von rd. 8 Mill. cbm zu erwarten war, so daß für den, allerdings erst nach vielen Jahren eintretenden Fall des stärksten Wasserverbrauchs eine Dampfkraft zur Hilfe genommen werden müßte. Fragt man sich, bis zu welcher größten Leistung y für die Wasserversorgung selbst im trockensten Jahre die Gesamtanlage ohne Zuhilfenahme einer Dampfkraft ausreichen würde, so hat man hierfür die Bedingung:

$$(7900000 - y)\ 50 \cdot 0{,}6 = y \cdot 130,$$

woraus $y =$ rd. 1480000 cbm folgt. Bis zu dem Zeitpunkt, in welchem dieser Jahresverbrauch erreicht sein wird, könnte die Wasserkraft allein die Wasserförderung besorgen. Diese Wassermenge würde für eine

Einwohnerzahl von etwa 90000 genügt haben; es wäre also der Wasserbedarf für Jahrzehnte hinaus gedeckt gewesen.

Es wurden ermittelt:

Anlagekosten . . . . . 1200000 Mk.

Betriebskosten für 4800 Stunden im Jahr:

Während der Tilgung . . . . . 62000 Mk.

Nach der Tilgung . . . . . 12000 »

Es kostet 1 cbm Versorgungswasser in Solingen:

Während der Tilgung . . . . . 3,1 Pf.

Nach der Tilgung . . . . . 0,6 »

III. Anlage eines Sammelbeckens mit Wasserkraftwerk wie unter II, jedoch mittels Dampfaushilfe erhöht bis zur jährlichen Leistungsfähigkeit von 2000000 cbm Trinkwasser.

Es war für diesen Zweck erforderlich, neben der Turbinenanlage von 240 PS. eine Dampfmaschine von 100 PS. vorzusehen.

Anlagekosten . . . . . 1300000 Mk.

Betriebskosten für 4800 Stunden im Jahr:

Während der Tilgung . . . . . 66000 Mk.

Nach der Tilgung . . . . . 15000 »

Es kostet 1 cbm Versorgungswasser in Solingen:

Während der Tilgung . . . . . 3,3 Pf.

Nach der Tilgung . . . . . 0,75 »

IV. Anlage eines Sammelbeckens mit Wasserkraftwerk wie unter II, jedoch durch Nutzbarmachung der durch ein neues Wehr aufgestauten Wupper erhöht bis zur jährlichen Leistungsfähigkeit von 2000000 cbm Trinkwasser.

Es war neben der Hochdruckturbine von 150—200 PS. für die Ausnutzung des Talsperrenwassers eine Niederdruckturbine für das Wupperwasser von 250 PS. vorgesehen.

Anlagekosten . . . . . 1940000 Mk.

Betriebskosten:

Während der Tilgung . . . . . 114000 Mk.

Nach der Tilgung . . . . . 30000 »

Es kostet 1 cbm Versorgungswasser im Hochbehälter in Solingen:

Während der Tilgung . . . . . 5,7 Pf.

Nach der Tilgung . . . . . 1,5 »

V. Anlage eines Sammelbeckens und eines Wasserkraft-

werkes wie unter IV bis zur jährlichen Leistungsfähigkeit von 2 000 000 cbm Trinkwasser mit Nutzbarmachung des Kraftüberschusses aus der Wupper in einer mit dem Wasserwerk verbundenen elektrischen Kraft- und Lichtzentrale.

Die Berechnungen der Leistungen der aus der Wupper und dem Sammelbecken zu gewinnenden Wasserkräfte ergaben hiernach, daß über den zukünftigen stärksten Bedarf des Wasserwerkes für Versorgungszwecke von 2,0 Mill. cbm jährlich und für Kraftzwecke zur Hebung dieser Wassermenge nach der Stadt selbst unter Zugrundelegung sehr trockner Jahre, wie es 1892 und 1893 gewesen waren, noch ein Überschuß an Kraft von jährlich 2,4—2,5 Mill. Pferdekraftstunden zur Verfügung stand, und es kam in Betracht, diese mechanische Arbeitsleistung nach Umsetzung in elektrische Energie mittels Fernleitung auf 6 km für die Stadt Solingen zu erschließen. Bei Annahme von nur 70 v. H. Nutzwirkung der Kraftübertragung konnten 1 600 000—1 700 000 Pferdekraftstunden der Stadt dienstbar gemacht werden.

Es durfte als sicher angenommen werden, daß die im Sengbachtale zu gewinnende elektrische Kraft für Licht und motorische Zwecke in Solingen Absatz finden würde. Für einen Teil davon hatte die Stadt in eigenen Betrieben und für die Straßenbeleuchtung Verwendung. Im übrigen war ein Bedarf an elektrischem Licht in den kaufmännischen und industriellen Betrieben vorhanden. Ebenso konnte erwartet werden, daß die Kraftabgabe im kleinen an die Gewerbe der Solinger Kleinindustrie einem Bedürfnisse entsprechen würde. Diese Voraussetzungen sind bei dem späteren Betriebe durchaus eingetroffen (s. Abschn. IV B).

Der Voranschlag für das neue Wasserwerk mit elektrischer Kraft- und Lichtzentrale ergab eine Kostensumme von 2 260 000 Mk.

Die Betriebskosten wurden ermittelt:

Während der Tilgung zu . . . 68 000 Mk.

Nach der Tilgung berechneten sich 28 000 » Überschuß.

Bei Annahme, daß von den in der Stadt für elektrische Zwecke zur Verfügung stehenden 1,6 Mill. Pferdekraftstunden nur 1 200 000 zum durchschnittlichen Preise von 6 Pf. für 1 PS.-St. Absatz finden würden, ergab sich, daß während der Tilgung 1 cbm Versorgungswasser im Hochbehälter in Solingen 3,4 Pf. kosten würde. Nach der Tilgung ist ein Überschuß von 28 000 Mk. oder 1,4 Pf. für 1 cbm vorhanden. Dabei wird dann das Wasserquantum von 2 000 000 cbm umsonst in die Stadt

geliefert werden. Bei Verkauf dieses Wassers stand also eine bedeutende Einnahme aus dem städtischen Wasserwerk in Aussicht.

Auf Grund dieser Überlegungen und an der Hand der Rentabilitätsberechnungen, deren Ergebnisse in der nachstehenden Tab. 60 zusammengestellt sind, konnte es nicht zweifelhaft erscheinen, daß für die Wasserversorgung der Stadt Solingen die Anlegung eines Sammelbeckens im Sengbachtale zu wählen sei und daß es sich empfehle, dieses neue Wasserwerk zu einer elektrischen Kraft- und Lichtzentrale auszubauen.[1])

Wirtschaftliche Berechnungen über den Wert der Wasserkräfte an Kanälen und kanalisierten Flüssen.

Eingehende Studien, die auch allgemeineren Wert für die Beurteilung der wirtschaftlichen Bedeutung der Wasser- und Wärmeenergie haben, sind in den letzten Jahren mehrfach aus Anlaß von Plänen durchgeführt worden, die eine Verbindung von Anlagen für die Schiffahrt mit solchen für die Kraftgewinnung zum Gegenstande hatten. Es seien hier kurz die Ergebnisse dieser Ermittlungen mitgeteilt. In bemerkenswerter Weise zeigt sich, daß alle diese Untersuchungen zu einem dem Gedanken der Vereinigung von Schiffahrts- und Kraftgewinnungszwecken günstigen Schlusse führen.

Der Masurische Schiffahrtskanal sollte nach dem früheren Plan die Schiffahrt von der masurischen Seenplatte nach dem Pregel vermitteln und gleichzeitig, indem er das überschüssige Wasser aus diesen Seen abführt, der Versumpfung weiter Wiesenflächen und den Überschwemmungen abhelfen und aus dem abgeleiteten Wasser bedeutende Kraftleistungen gewinnen lassen. Es war geplant, das zur Verfügung stehende Gesamtgefälle von 112 m auf sechs geneigte Ebenen zu verteilen, an denen die sechs Kraftwerke mit einem zwischen 14 m und 28 m schwankenden Nutzgefälle errichtet werden sollten (s. S. 230). Auf diese Weise können nach den Aufrechnungen Intzes[2]) mit einem Kostenaufwande von 3 Mill. Mk. rund 13000 PS., Tag und Nacht verfügbar, gewonnen werden, deren Jahreskosten zu 17 Mk. für 1 PS. ermittelt sind — also wesentlich hinter denen einer Dampfpferdekraft zurückbleiben. Unter Zugrundelegung eines Preises von 150 Mk. für eine vierundzwan-

1) Beschreibung der Anlage und Ausführung s. Zeitschr. f. Bauw. 1904.

2) Nutzbarmachung erheblicher Wasserkräfte durch den Masurischen Schiffahrtskanal.

Tabelle 60. Ergebnisse der vergleichenden Voruntersuchungen für eine Talsperren- und Wasserkraftanlage der Stadt Solingen.

Entwurf	Art der Wassergewinnung	Leistung der Pumpen in Kubikmetern jährlich cbm	Mittlere Förderhöhe im Jahre m	Mittleres Nutzgefälle der Wasserkraft für die Hochdruckturbinen m	Anlagekosten einschl. Grunderwerb Mk.	Betriebskosten jährlich: Während der Tilgung Mk.	Betriebskosten jährlich: Nach der Tilgung Mk.	Kosten für 1 cbm Wasser im Hochbehälter in Solingen: Während der Tilgung Pf.	Kosten für 1 cbm Wasser im Hochbehälter in Solingen: Nach der Tilgung Pf.
I	Grundwasserversorgung vom Rhein . . . . . Nur Dampfkraft.	2 000 000	216 bis 230	—	1 350 000	136 400	86 000	6,8	4,3
II	Sammelbecken von 3 Mill. cbm Stauinhalt im Sengbachtale . . . . . Nur Wasserkraft.	1 480 000	130 bis 190	40 bis 50	1 200 000	62 000	12 000	3,1	0,6
III	Sammelbecken von 3 Mill. cbm Stauinhalt im Sengbachtale . . . . . Wasser- u. Dampfkraft.	2 000 000	130 bis 190	40 bis 50	1 300 000	66 000	15 000	3,3	0,75
IV	Sammelbecken von 3 Mill. cbm Stauinhalt im Sengbachtale mit Nutzbarmachung des Wuppergefälles. . . . . Nur Wasserkraft, ohne Elektrizitätswerk.	2 000 000	130 bis 190	40 bis 50	1 940 000	114 000	30 000	5,7	1,5
V	Sammelbecken von 3 Mill. cbm Stauinhalt im Sengbachtale mit Nutzbarmachung des Wuppergefälles. . . . . Nur Wasserkraft, mit Elektrizitätswerk.	2 000 000[1])	130 bis 190	40 bis 50	2 260 000	68 000*)	Überschuß*) 28 000[2])	3,4*)	Überschuß durch die Elektrizität 1,4 Pf. für 1 cbm. *) Dabei ist angenommen, daß von den 1 600 000 PS.-Stunden im Jahr 1 200 000 PS.-St. zu 6,0 Pf. für eine PS.-St. verkauft werden.

1) Außerdem Leistung von 1,6 bis 1,7 Mill. Pferdekraftstunden jährlich in Solingen.

2) Außerdem werden die 2 Mill. cbm Wasser umsonst in die Stadt geliefert.

zigstündige Dampfpferdekraft und Jahr berechnet Intze den jährlichen Gewinn aus den Wasserkräften des Masurischen Kanals gegenüber einer gleichen Leistung durch Dampf zu 1,73 Mill. Mk. und den Kapitalgewinn zu nahezu 35 Mill. Mk.

Für den Absatz der Kraft bieten die umliegenden landwirtschaftlichen Betriebe, sowie Städte und Gemeinden, in denen der elektrische Strom für Kraft und Lichtzwecke vorteilhafte Verwendung finden und eine neuzeitliche Entwicklung hervorrufen würde, sowie die Erschließung gewerblicher Betätigung auf der Grundlage des Holzreichtums der Gegend gute Aussicht, während der Kanal als Verkehrsweg die landwirtschaftlichen und Bodenschätze Ostpreußens dem großen Markt näher bringen würde.

Es wurde schon früher bemerkt, daß neuerdings die Ausführung dieses Kanals beschlossen ist, aber nur als Schiffahrtskanal. Durch das Gesetz betr. den Bau eines Schiffahrtskanals vom Mauersee nach der Alle bei Allenburg und von Staubecken im Masurischen Seengebiet vom 14. Mai 1908 (G. S. S. 141) wird die Preußische Staatsregierung ermächtigt zu verwenden für den Bau

1. eines Schiffahrtskanals vom Mauersee nach der Alle bei Allenburg (des Masurischen Kanals) . 14 700 000 Mk.
2. von Staubecken im Masurischen Seengebiet . 1 815 000 »

Vergleichende Kostenberechnungen über die Verwertung der Wasserkräfte an Wehren und in Dampfwerken hat Werneburg angestellt. Dabei wurden der Untersuchung die Wasserverhältnisse an der Stauanlage von Güdingen an der Saar zugrunde gelegt [1]).

An Wassermenge und Gefälle stehen dort zur Verfügung

1. an 10 Tagen im Jahre 7,72 cbm Wasser bei 2,0 m Gefälle.
2. » 234 » » » 9,80 » » » 2,0 » »
3. » 79 » » » 9,80 » » » 1,5 » »
4. » 6 » » » 9,80 » » » 0,8 » »
5. » 36 » » » 9,80 » » » 0,0 » »

An diesen 36 Tagen ist die Ausnutzung der Wasserkraft infolge der Niederlegung des Wehres unmöglich. Es würde somit, um ständigen Betrieb zu sichern, die Anlage einer Wärmekraftaushilfe nötig sein.

Die mittlere Leistung der Kraftanlage ist entsprechend Wassermenge

1) Zentralbl. d. Bauverw. 1897.

und Gefälle auf 200 PS. bemessen. Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Tabelle 61 zusammengestellt. Aus diesen folgert Werneburg, daß an Ort und Stelle (am Wehr) die Wasserkraft mit Dampfaushilfe im Jahre um rd. 200 (201—101) = 20000 Mk. bei gleicher Leistung billiger als ein Dampfkraftwerk arbeiten würde. Das bedeutet allerdings einen beträchtlichen volkswirtschaftlichen Gewinn. Die Rechnung weist weiter darauf hin, daß selbst nach Fernübertragung auf 20 km sich die Wasserkraft noch um 23 Mk. niedriger stellt als die Dampfkraft in einer am Ort des Gebrauchs errichteten Dampfanlage. Dabei handelt es sich um den Vergleich zweier Anlagen von 200 PS. bei Annahme niedriger

Tabelle 61. Betriebskostenvergleich zwischen Wasser- und Dampfkraft an der Saar.

Reine Wasserkraftanlage. 170 PS. an 270 Tagen, Tag und Nacht. Kosten in Mark für 1 PS.	Wasserkraftanlage mit Dampfaushilfe. 200 PS. an 300 Arbeitstagen, Tag und Nacht. Kosten in Mark für 1 PS.	Dampfkraftwerk. 200 PS. an 300 Arbeitstagen, Tag und Nacht. Kosten in Mark für 1 PS.	Wasserkraftanlage mit Dampfaushilfe. Elektr. Kraftübertragung auf 20 km. Von den 200 PS. stehen am Verbrauchsort 146 PS. zur Verfügung. Kosten in Mark für 1 PS.	Bemerkungen
43,2	101,3	201	178	Die Kosten für die Kohlen sind mit 10,8 Mk. für 1 t angesetzt. — Die Herstellungskosten der Anlagen sind an der Hand skizzierter Baupläne ermittelt.

Kohlenpreise und mit Recht wird in dem Aufsatz betont, daß in gewerblichen Anlagen mit Kleinkraftbedarf von wenigen PS. die Dampfkraft wesentlich teurer arbeitet als hier berechnet. Bei solcher Kleinverteilung werden also die Vorteile der Wasserkraft noch mehr hervortreten.

Zum weiteren Vergleich seien hier noch die Selbstkosten für Bau und Betrieb von Wasser- und Dampfkraftanlagen an kanalisierten Flüssen nach den in Abschn. IIIE erwähnten Prüsmannschen Untersuchungen angegeben. Wie ersichtlich, sind die in Tabelle 62 zusammengestellten Hauptergebnisse gleich günstige für die Wasserkraftnutzung wie in den obigen Ermittlungen. Nach den eingehenden Untersuchungen [1]) beträgt die vollständige Außerbetriebsetzung an den deutschen Flüssen wie der

1) Ausnutzung der Wasserkräfte an Wehren kanalisierter Flüsse. IX. internat. Schiffahrtskongreß 1902.

Tabelle 62. Selbstkosten für Bau und Betrieb von Wasser- und Dampfkraftanlagen an kanalisierten Flüssen.

Art der Krafterzeugung und tägliche Betriebsstunden	Weser bei Rintelen 1000 PS.			Main bei Frankfurt 2000 PS.			Oder bei Krappitz 1000 PS.			Mosel bei Valwig 2000 PS.			Bemerkungen
	Baukosten für 1 PS. Mk.	Jährl. Kosten für 1 PS. Mk.	Für 1 PS. Stunde Pf.	Baukosten für 1 PS. Mk.	Jährl. Kosten für 1 PS. Mk.	Für 1 PS. Stunde Pf.	Baukosten für 1 PS. Mk.	Jährl. Kosten für 1 PS. Mk.	Für 1 PS. Stunde Pf.	Baukosten für 1 PS. Mk.	Jährl. Kosten für 1 PS. Mk.	Für 1 PS. Stunde Pf.	
Wasserkraft mit voller Dampfaushilfe													Jährliche Betriebsdauer: 365 Tage. Ohne elektr. Anlagen.
24 Stunden	779	140	1,6	926	141	1,6	897	161	1,8	789	138	1,6	Wasserkraft steht außerdem nachts fast kostenfrei zur Verfügung.
12 »		105	2,4		108	2,5		117	2,7		103	2,4	
Nur Dampfbetrieb													Jährliche Betriebsdauer: 365 Tage. Kohlenpreisannahme: 16 Mk. für 1 t. Ohne elektr. Anlagen.
24 Stunden	461	249	2,8	461	249	2,8	461	249	2,8	461	249	2,8	
12 »		148	3,4		148	3,4		148	3,4		148	3,4	

Anmerkung. Die Tabelle zeigt die vorteilhafte Preisgestaltung der Wasserkraft bei ununterbrochenem Tag- und Nachtbetrieb. (24 Stunden). — In den Preisen sind die für die Schiffahrtszwecke ohnehin notwendigen Aufwendungen (Wehranlage) nicht berücksichtigt.

Weser, dem Main, der Oder und der Mosel jährlich 67 bis 98 Tage. Dazu kommt die Verminderung der Wasserkraft in den Zeiten der Trockenheit. Prüsmann baut seine Berechnungen auf eine mittlere Wasserkraft, die an 200 Tagen im Jahre zur Verfügung steht, auf und bemißt darnach die Maschinenstärke der Wasser- und Dampfkraft, die in gegenseitiger Ergänzung arbeiten sollen. Die Ergebnisse erweisen, daß dieser gemischte Betrieb — obwohl die untersuchten Plätze an schiffbaren Gewässern liegen und demnach billigen Kohlenbezug haben — wirtschaftlich vorteilhaft ist, falls Absatz für die Kraftmenge vorhanden ist. Man ersieht, daß die Einheitskosten dabei geringer als bei dem reinen Dampfbetriebe sind. Die gesamte erschließbare Kraft an 85 Wehren der genannten vier Flüsse wird zu 223 000 PS. berechnet.

Über die Verwertung der Wasserkräfte bei etwaiger Kanalisierung der Mosel und Saar sind in letzter Zeit erneute Aufrechnungen angestellt worden [1]). Diese haben erkennen lassen, daß an 32 Staustufen der Mosel auf preußischem Gebiet bei mittleren Wasser- und Gefällverhältnissen 35 000 PS. und an 16 Staustufen der Saar 10000 PS. nutzbar gemacht werden können. Auf der lothringischen Moselstrecke stehen außerdem noch 5000 PS., mithin im ganzen 50000 PS. zur Verfügung. Die Turbinenanlagen sind neben den für die Schiffahrt erforderlichen Einrichtungen am Ufer mit kurzen Werkkanälen geplant und mit voller Dampfaushilfe vorgesehen. Der Ausfall der Wasserkraft infolge des verschwindenden Gefälles bei Wehrniederlegungen ist an der Mosel mit 60 Tagen, an der Saar mit 19 Tagen im Durchschnitt in Ansatz gebracht. Aus diesen Ermittlungen ist hervorzuheben, daß in größeren Kraftwerken von z. B. 1000 PS. Leistung und bei 3000 Betriebsstunden sich die Jahreskosten für 1 PS. in Form von elektrischer Energie (im Kraftwerk an der Dynamowelle) zu 129 Mk., in einem zum Vergleich mitberechneten Dampfwerke zu 162 Mk. ergeben. Die auf 10 bis 30 km elektrisch übertragene und verteilte Wasserkraft würde 172 bis 185 Mk. kosten.

Die Denkschrift faßt die Schlußfolgerungen ihrer Untersuchungen dahin zusammen, daß die Erzeugung mechanischer Arbeit von 225 PS. effektiver Leistung und darüber durch örtliche Dampfmaschinen sich billiger stellt als durch Übertragung der Wasserkraft auf größere Entfernung. Die Erzeugung von elektrischem Strom hingegen ist

1) Denkschrift über die Verwertung der Wasserkräfte bei etwaiger Kanalisierung der Mosel und Saar. Bearbeitet im Preuß. Ministerium der öffentl. Arbeiten. 1906.

bei beliebigem Kraftbedarf und mindestens 3000 Betriebsstunden billiger von einem Wasserkraftwerk zu beziehen, auch wenn dasselbe noch 25 bis 28 km von der Verwendungsstelle entfernt ist.

Den Aufrechnungen liegt ein Kohlenpreis von 16 Mk. für 1 Tonne

Tabelle 63. Anlagekosten für die Gewinnung von Wasser- und Dampfkräften an der Mosel und Saar.

Gesamtleistung des Kraftwerkes 1000 PS.

Betriebsart	Anlagekosten für 1 PS. in Mark		Bemerkungen
	Gewöhnliche Dampfkraft	Wasserkraft mit voller Dampfaushilfe	
Als mechanische Leistung im Kraftwerk (an der Turbinenwelle bzw. Hauptwelle der Dampfmaschine)	320	577*)	Die Kosten beziehen sich auf Betriebskanal und Kraftwerk; die Kosten des Stauwehres sind in den Preisen nicht mit enthalten.
Als Elektrizität im Kraftwerk (an der Dynamowelle)	532	875	*) Hiervon entfallen auf Turbinenanlage . . . 337, Dampfaushilfsanlage 240.
Als Elektrizität übertragen und verteilt in einer Entfernung			Es ist angenommen: der Wirkungsgrad der Dynamomaschinen zu 93 v. H.; Kraftverlust in den Fernleitungen zu 7 v. H.; in den Transformatoren zu 5 v. H.; in den Verteilungsleitungen zu 2 v. H. Gesamtwirkungsgrad der elektrischen Übertragung = 0,81. Dazu tritt der Kraftverlust in den Elektromotoren bei Umsetzung der elektr. Energie in mechanische Arbeit, der mit 7 v. H. in Ansatz gebracht ist. Wirkungsgrad der ursprünglichen Kraft an der Motorenwelle darnach = 0,75.
von 10 km	870	1268	
» 20 »	926	1320	
» 30 »	975	1380	
Als mechanische Arbeit nach elektrischer Übertragung und Verteilung an der Motorwelle des Verbrauchers in einer Entfernung			
von 10 km	1140	1570	
» 20 »	1190	1630	
» 30 »	1233	1690	
(einschl. Kosten der Motoren)			

zugrunde; die für die Schiffahrt aufzuwendenden Kosten (Wehranlage) sind darin nicht berücksichtigt. Die wesentlichsten Zahlenergebnisse dieser Untersuchungen sind in den Tab. 63 u. 64 zusammengefaßt. Die Abb. 230 gibt eine Darstellung der vorhandenen und zur Ausnutzung geplanten Wasserkräfte an der Staustufe »Aldegund« (Mosel) für 1000 PS. ständige Leistung an der Turbinenwelle. Die Ergebnisse für diese Stau-

Tabelle 64. Jährliche Betriebskosten bei der Gewinnung von Wasser- und Dampfkräften an der Mosel und Saar.

Gesamtleistung des Kraftwerkes 1000 PS.

	Jährliche Betriebskosten für 1 PS. in Mark								Bemerkungen
	Gewöhnliche Dampfkraft				Wasserkraft mit voller Dampfaushilfe				
Betriebsstunden im Jahr	1500	3000	4500	6000	1500	3000	4500	6000	
Als mechanische Leistung im Kraftwerk (an der Turbinenwelle bzw. Hauptwelle der Dampfmaschine)*) . . .	81 71,4	122 102,8	169,6 140,8	210,6 172,8	71,6 59,7	84,7 66,7	104,1 79,7	117 86,7	Die Betriebskosten setzen sich zusammen aus den Beträgen für Verzinsung und Tilgung des Anlagekapitals (4 v. H.), Unterhaltung der Bauanlagen (2 v. H.), der Maschinen und elektrischen Anlage (7 v. H.) und für allgemeine Verwaltung.
Als Elektrizität im Kraftwerk (an der Dynamowelle)	118	162	214	257,6	115	129	150	164	Angenommener Kohlenpreis 16 Mk. für 1 t.
Als Elektrizität übertragen und verteilt in einer Entfernung									*) Obere Reihe für die Mosel, untere Reihe für die Saar.
von 10 km	160	210	268	318	156	172	196	211	Es ist angenommen, daß die Dampfkraft an derselben Stelle in Frage kommen soll, wo die Wasserkraft vorhanden ist. Die Kosten der für Schiffahrtszwecke erforderlichen Einrichtungen, insbesondere für das Stauwehr, sind in den Preisen nicht mit berücksichtigt.
» 20 »	166	216	274	325	163	179	203	219	
» 30 »	172	223	282	333	169	185	209	225	
Als mechanische Arbeit nach elektrischer Übertragung und Verteilung an der Motorwelle des Verbrauchers in einer Entfernung									
von 10 km	188	242	304	358	183	200	225	242	
» 20 »	194	248	311	365	189	207	232	249	
» 30 »	200	254	318	372	196	214	240	256	

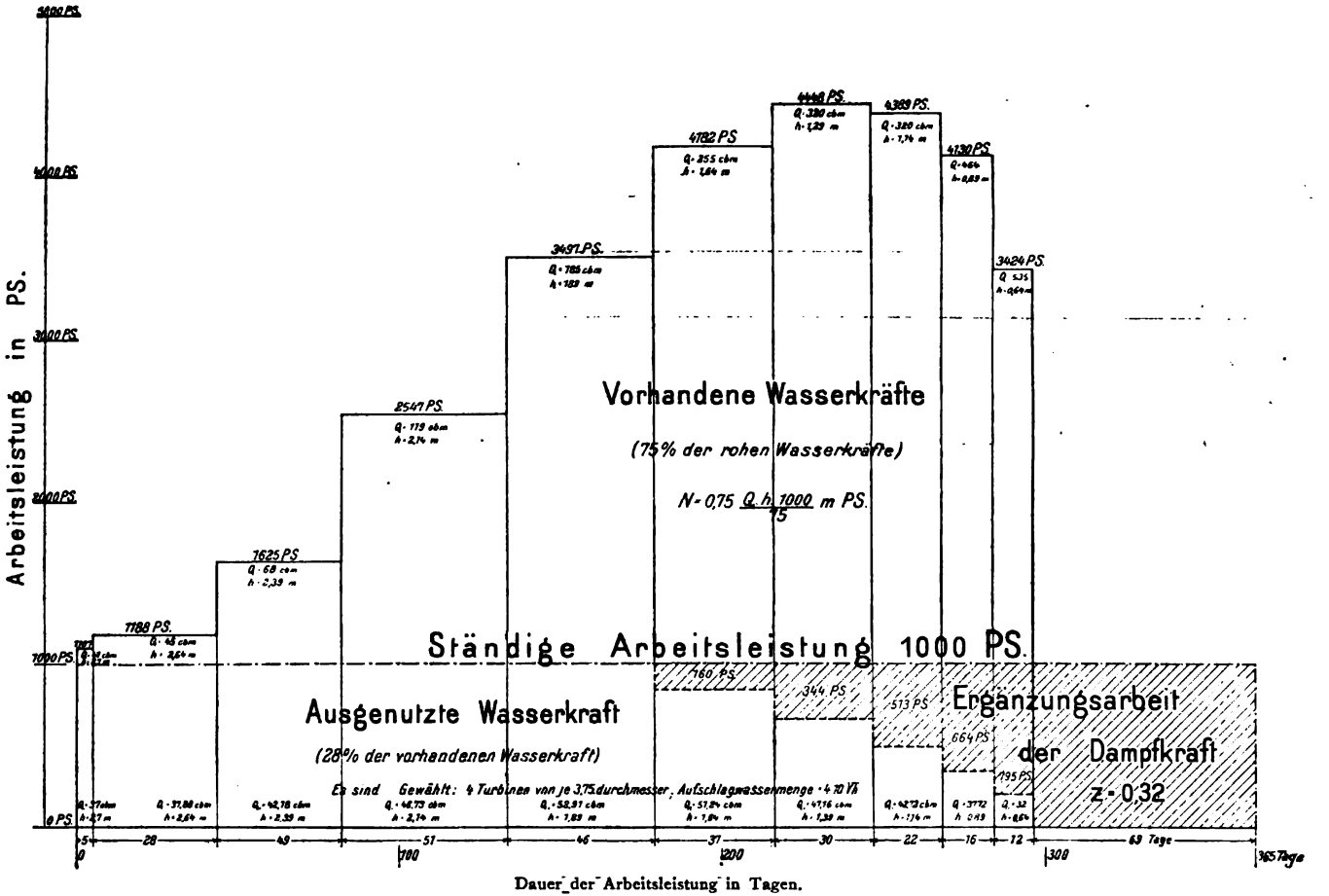


Abb. 230. Darstellung der vorhandenen und zur Ausnutzung geplanten Wasserkräfte au der Staustufe »Aldegund« (Mosel) für 1000 PS. ständige Leistung an der Turbinenwelle.

stufe entsprechen etwa dem Mittel aller 32 geplanten Moselstauanlagen. Die ausgenutzte Wasserkraft beträgt 28 v. H. der vorhandenen Wasserkraft. Diese 28 v. H. bezeichnen für die Mosel die wirtschaftlich richtige Grenze für die Verwertung der Wasserkraft bei Ergänzung durch eine Dampfanlage. Der Wert z ist das Verhältnis der Leistung der Dampfkraft zur Gesamtjahresleistung.

Durch Abschneiden von Stromschleifen mittels Tunnel bietet sich an der Mosel und Saar mehrfach Gelegenheit, große Wasserkräfte zu

Tabelle 65. Bau- und Betriebskosten bei Ausnutzung der Wasserkräfte an der Mosel und Saar mittels Tunnelanlagen.

Ständiger Betrieb ohne Dampfaushilfe.

Bezeichnung der Tunnelanlage	Länge des Tunnels	Längenverhältnis des Stollens zur Stromschleife	Leistung der Anlage	Anlagekosten für 1 PS. in	Jährliche Kosten für 1 PS. an der Hauptwelle (3000 Betriebsstunden)			
					Wasserkraft durch Tunnel	Wasserkraft an den Wehren der Stromschleifen	Dampfkraft	Minderkosten der Wasserkraft durch Tunnel gegenüber der Dampfkraft
	m		PS.	Mk	Mk.	Mk.	Mk.	v. H.
Mosel:								
Eller-Cochem . . .	5000	1 : 4,5	3000	1180	66	81	102	36
Pünderich-Bullay . .	450	1 : 24,5	900	804	62	82	124	50
Berncastel-Trarbach	3750	1 : 5,3	2400	1104	64	80	104	39,2
Saar:								
Schoden-Hamm . .	2650	1 : 2,8	700	1130	75	71	110	31,8
Beeseringen-Mettlach	1300	1 : 6,15	700	806	59	61	110	46,5

konzentrieren, die wegen des stets vorhandenen Gefälles einer Dampfaushilfe nicht bedürfen. Die Einträglichkeit derartiger Tunnelanlagen hängt, wie die erwähnte Untersuchung hervorhebt, wesentlich davon ab, ob das zu durchfahrende Gebirge eine Ausmauerung nötig macht oder nicht, wodurch die Anlagekosten stark beeinflußt werden. Die genau veranschlagten Kosten gehen aus der Tab. 65 hervor. Es ist dabei zu berücksichtigen, daß bei Anlage der Tunnel eine Ausmauerung nicht vorgesehen wurde. Es zeigt sich bei dem günstigen Tunnel Pünderich-Bullay eine Ersparnis gegenüber der gewöhnlichen Dampfkraft von 50 v. H.

Es stellen sich, falls eine Ausmauerung der Tunnel angenommen wird, die Selbstkosten einer Pferdekraftstunde

a) an der Turbinenwelle zu . . . . . 2,9 Pf.
b) als elektrischer Strom am Kraftwerk zu . . . . . 4,4 »
c) desgl. im Verteilungsnetz
bei 10 km Entfernung zu . . . . . 5,8 »
» 30 » » » . . . . . 6,3 »

Weitere Untersuchungen hierüber s. Werneburg, Denkschrift über die Rentabilität der Mosel- und Saarkanalisierung unter Berücksichtigung des Schleppmonopols. (2 Hefte der Veröffentlichungen des Vereins zur Wahrung der gemeinsamen wirtschaftlichen Interessen der Saarindustrie und der Südwestlichen Gruppe des Vereins deutscher Eisen- und Stahlindustrieller. 1906. Es wird darin u. a. die Frage der Verwertung der Wasserkräfte für den elektrischen Schleppzug erörtert.)

Von den in Abschn. III E erwähnten österreichischen Untersuchungen liegen bisher die Ergebnisse für die Mittelelbe vor. Es sollen darnach alle Gefällstufen an der Elbe zwischen Königgrätz und Melnik für die Kraftausnutzung herangezogen und an 20 Stellen Turbinenwerke eingerichtet werden. Die gewinnbare Kraft ist zu 21 300 PS. berechnet. Dampfaushilfe ist vorgesehen in dem Maße, daß die Wasserkraft 86 v. H., die Dampfkraft 14 v. H. der Gesamtarbeit leistet. Der Erzeugungspreis der Kilowattstunde soll sich auf 2,4 Pf. stellen. Es ist geplant, alle Kraftwerke in ein einheitliches Leitungsnetz arbeiten zu lassen, so daß die Gesamtanlage zentralisiert wird. Die Verwertung der Wasserkräfte ist in der Weise gedacht, daß der Staat den Bau in die Hand nimmt, aber die Ausnutzung den Gemeinden und Bezirksvertretungen gegen Zahlung von Beiträgen überläßt.

Zu ähnlich günstigen Ergebnissen haben die Untersuchungen an der Kanalisierung der Moldau von Prag bis Melnik geführt [1]). Auch bei dem Plane für die Verbesserung der Schiffbarkeit der bayrischen Donau ist auf die Ausnutzung der Wasserkräfte an den Wehren gerücksichtigt [2]). An der Moldau besitzen die beiden Schleusen von Horin ein Gefälle von 9 m. Es können durchschnittlich 900 PS. gewonnen werden. Man wird auch hier ohne Dampfaushilfe nicht auskommen können und die Pferdekraftstunde stellt sich rechnungsmäßig auf 1,7 Pfennige.

1) Zeitschr. d. österreich. Ing.- u. Arch.-Ver. 1905 S. 426.
2) Faber, Denkschrift über die Verbesserung der Schiffbarkeit der bayrischen Donau.

V. Neuere Bestrebungen zur Ausnutzung der Wasserkräfte in den Kulturländern.

1. Die Wasserkraftfrage der Gegenwart.

In allen Kulturländern der Erde erkennt man gegenwärtig die Bedeutung mechanischer Arbeitsleistung im Wirtschaftsleben, und es herrscht überall eine lebhafte Bewegung zur Erschließung der Wasserkräfte. Es ist naturgemäß, daß diese Bestrebungen dort am stärksten zum Ausdruck kommen, wo große Kohlenlager fehlen und wo die Beschaffung dieses Feuerungsstoffes infolge der großen Förderstrecken teuer wird. Die Schweiz, Italien, Schweden und Norwegen und die Westküste von Nordamerika haben die Führung und es scheint fast, als ob die Natur, indem sie diesen Ländern die »schwarzen Diamanten« versagte, in der »weißen« und »grünen« Kohle ausgleichenden Ersatz geben wollte. Aber auch andere Länder, wie Frankreich, Österreich, selbst England verhelfen dem Gedanken der Verwertung des Wasserreichtums in ihren Gebirgen und an den Wasserläufen gegenwärtig zu reicher praktischer Betätigung, und in Deutschland hat man durch den Bau neuerer großer Kraftzentralen dargetan, daß man auf diesem Wege nicht zurückbleiben will. Einen Maßstab, welche Fortschritte bei dem Anwachsen der Industrie die Ausnutzung der Wasserkräfte gemacht hat, mögen die nachstehenden Angaben bieten, die dem Werke von Wagenbach über Turbinenanlagen entnommen sind. Von einigen hervorragenden Turbinenbauanstalten haben z. B. geliefert:

Voith, Heidenheim, bis Ende 1904 etwa 1800 Turbinen für zus. 320000 PS.

Escher, Wyß & Co., Zürich, bis Ende 1904 etwa 3700 Turbinen für zus. 700000 PS.

The Platt Iron Works Co., Dayton, Ohio, bis Ende 1902 5422 Turbinen für zus. 1040000 PS.

Wirtschaftsgebiete für die Verwertung der Wasserkräfte.

Schon der bisherige Gang der Entwicklung der Wasserkraftverwertung hat im ganzen die Stellung der Wasserkraft im Rahmen der wirtschaftlichen Nutzbarmachung der mechanischen Kräfte dargetan, und man wird in den Erörterungen der vorstehenden Abschnitte die inneren Gründe dieser Gestaltung der Dinge suchen dürfen. Die kleineren Triebwerke an den durch Talsperren in ihrem Abfluß regulierten Gebirgsbächen sind, mit den vervollkommneten Maschinen der neueren Technik ausgestattet, von neuem erblüht und ein bedeutendes Glied des Wirtschaftslebens ihrer engeren Bezirke geworden. Die großen Wasserkräfte an dem oberen und mittleren Laufe der Flüsse haben zum Teil den Sammelpunkt elektrochemischer Gewerbe und größerer Bevölkerungsansiedlungen gebildet. Aber daneben liegt die wirtschaftliche Bedeutung der Wasserkraftverwertung in der Fernleitung und in der Auflösung der nutzbar gemachten großen Kraftmengen in viele kleine Einheiten. Die neuzeitlichen Überlandzentralen sind hierfür die ausgeprägteste Erscheinungsform. Diese elektrisch übertragenen Wasserkräfte sind bei den gegenwärtigen Kohlenpreisen nicht so sehr berufen, den Großdampfanlagen den Platz streitig zu machen. Aber auf dem Gebiet der Verteilung der Elektrizität für den kleinen Werkstätten- und Lichtbetrieb, wie dies heute in den städtischen Elektrizitätswerken geschieht, da ist die Wasserkraft wettbewerbfähig mit der kleinen Einzelwärmemaschine. Eine große Zahl von solchen im Betriebe befindlichen Unternehmungen tut dies dar.

Ein neues Feld der Betätigung der Wasserkräfte ist in den letzten Jahren durch den hydroelektrischen Betrieb der Bahnen im Gebirge hinzugekommen. Italien, die Schweiz und Amerika haben solche Bahnanlagen. Die Möglichkeit zur Wiedergewinnung elektrischer Kraft bei der Talfahrt ist dabei ein Vorteil des elektrischen Betriebes gegenüber dem mit Dampflokomotiven, bei denen diese Schwerkraftnutzung verloren geht. Diese Frage der Verwertung der Wasserkräfte für den Bahnbetrieb steht gegenwärtig im Vordergrunde der Forschung und praktischen Ausbildung.

Technisch kann heute die elektrische Zugförderung als gleichwertig mit dem Dampfbetrieb angesehen werden. Für den elektrischen Betrieb ist ein dichter Verkehr d. h. eine gleichmäßige Inanspruchnahme des

Kraftwerkes erwünscht. Daher kommt die Umwandlung langer selten fahrender Züge und die Auflösung in viele einzelne und oft verkehrende Wagen in Betracht. Das würde allerdings einen vollen Systemwechsel gegenüber der heutigen Betriebsart der Eisenbahnen bedeuten.

Der hohe Kohlenverbrauch der Bergbahnen — also auf Strecken, in deren Nähe sich unverhältnismäßig oft Wasserkräfte erschließen lassen — spricht besonders für den hydroelektrischen Betrieb im Gebirge. Auf der Arlbergbahn soll z. B. für die Strecke Landeck—Bludenz der Kohlenverbrauch dreimal so viel betragen als im Durchschnitt auf den österreichischen Staatsbahnen.

Die Nutzbarmachung des Stickstoffes der Luft für die landwirtschaftliche Düngung wird eine dringliche Frage, da die natürlichen Salpeterlager in Südamerika in nicht zu ferner Zeit aufgebraucht sein werden. Die Verwertung der atmosphärischen Luft bietet hier eine unerschöpfliche Quelle. Allerdings werden hierfür sehr bedeutende — und wenn möglich naturgemäß billige — Kräfte benötigt. Es scheint dies ein außerordentliches Feld der Wasserkräfte zu sein, da ein gleichmäßiger Bedarf vorhanden ist und die Fernübertragung erspart bleibt.

Es soll hier nicht unerwähnt gelassen werden, ohne auf diesen bedeutsamen Gegenstand näher einzugehen, wie die Sorge um die Erschöpfung der Kohlenvorräte der Erde aller Orten der Wasserkraftnutzung eine erhöhte Dringlichkeit zu verleihen beginnt. Hat doch in England eine staatliche Kommission nach eingehender Prüfung berechnet, daß die dortigen Kohlenlager schon in 400 Jahren aufgebraucht sein werden.

Fördernd in diese Entwicklung der Wasserkraftnutzung, wenigstens in den Staaten des europäischen Festlandes, hat der sozialpolitische Gedanke eingegriffen, das Kleingewerbe durch Lieferung billiger mechanischer Kraft widerstandsfähig gegenüber den Großunternehmungen zu machen und für die Dezentralisierung der Industrie zu sorgen. Die über das Land gleichmäßig ausgebreiteten Wasserkräfte geben für die Verwirklichung solcher Pläne die beste Unterlage und dies um so mehr, als sie vielfach gerade in gewerblich noch wenig entwickelten Bezirken erschlossen werden können.

Einen weiteren bemerkenswerten Schritt kennzeichnen die neuesten, auf die Verstaatlichung der Wasserkräfte gerichteten Bestrebungen. Die Schweiz schreitet auf dieser Bahn lebhaft voran. Hier, wo sich auf

engem Bezirk eine so außerordentliche Fülle von einträglich erschließbaren Wasserkräften vereinigt findet, sieht man eine Gefahr darin, daß die private Ausnutzung sich ihrer zum Schaden des Allgemeinwohls bemächtigt und daß die Ausfuhr der Wasserkräfte und der daraus erzielten Renten ins Ausland die Entwicklung des heimatlichen Landes schädigt. Aber auch in andern Ländern wird diese Frage lebhaft erörtert und hat zum Teil schon praktische Formen angenommen, wie in Schweden, Italien und Österreich.

Statistik der Wasserkräfte.

Es kann nicht fehlen, daß bei dem regen Interesse für die Wasserkraftfrage mit großer Betonung Zahlen über Zahlen von gewinnbaren Kräften in allen Erdteilen genannt werden, die die Bedeutung des zu erschließenden Wirtschaftsfeldes dartun sollen. Diese Zahlen gehen von Blatt zu Blatt, meist ohne auf ihren Wert geprüft zu werden. Allein alle diese Angaben sind doch bestenfalls fast immer nur das Ergebnis roher Schätzungen. Man ersieht dies schon aus den vielfachen Widersprüchen, denen man in der Literatur begegnet.

Bei der Aufrechnung der Wasserkräfte eines Landes ist eine große Vorsicht und Sachkenntnis erforderlich. Denn nicht nur der Wasserabfluß und das natürlich gegebene Gefälle des Wasserlaufs ist maßgebend. Die Untersuchung führt — wie schon früher erörtert — oft zu anderem und viel günstigerem Abschluß, wenn statt eines oberflächlichen Wurfes eine richtige technische Würdigung erfolgt. Es soll daher davon Abstand genommen werden, hier solche Aufzählungen mutmaßlicher Wasserkraftschätze vorzuführen. Einige Angaben finden sich in den nachstehenden Abschnitten.

Selbst über die tatsächlich nutzbar gemachten Wasserkräfte haben wir nur unsichere Unterlagen. Campbell Swinton hat sich der Mühe unterzogen, eine Statistik der Wasserkraft-Elektrizitätswerke in einer Reihe Länder aufzustellen, die die folgende Tabelle 66 wiedergibt [1]). Wenn sie zwar voller Genauigkeit entbehrt, so gestattet sie immerhin eine gewisse Übersicht.

Campbell Swinton schätzt die Gesamtstärke der nutzbargemachten

1) Scientific American Supplement vom 3. 12. 1904.

hydro-elektrischen Kräfte der Erde auf 2 Mill PS., zu etwa dem gleichen Ergebnis kommt Esson [1]).

Größere Bedeutung als eine Zusammenstellung unsicherer Zahlen mag eine allgemeine Darstellung des gegenwärtigen Standes der Wasserkraftfrage in den Hauptkulturländern der Erde haben. Diesem Zwecke sollen die nachstehenden Ausführungen dienen. Es kann sich hier nicht darum handeln, ein genaues Bild in allen Einzelheiten zu geben. Das würde für jedes Land eine besondere Abhandlung erfordern. Es soll vielmehr nur der Versuch gemacht werden, die leitenden Ge-

Tabelle 66 über die in öffentlichen Elektrizitätswerken nutzbar gemachten Wasserkräfte.

	PS.	Bemerkungen.
Vereinigte Staaten von Nordamerika	527 500	Nach der amtl. Statistik vom 30. 6. 1902: 1378 öff. elektr. Zentralen mit 381000 PS.[2]).
Kanada	228 300	
Mexiko	18 500	
Venezuela . . .	1 200	
Brasilien	800	
Japan	3 500	
Schweiz	133 300	Nach Wyssling und Zschokke rd. 161000 PS.
Frankreich . . .	161 400	
Deutschland . . .	81 100	Nach der Statistik der E. T. Z. vom 1. 4. 1904 rd. 100200 PS.
Österreich . . .	16 000	
Schweden . . .	71 000	
Rußland	10 000	
Italien	210 000	
Indien	7 100	
Südafrika	2 100	
Großbritannien . .	11 900	

sichtspunkte und kennzeichnenden Bestrebungen der Länder in großen Zügen zusammenzufassen.

Zuvor sei aber mit kurzen Worten noch einiger Länder gedacht, die, teils weil in ihnen die natürlich gegebenen Verhältnisse wenig günstig sind, teils weil die gesamte übrige Wirtschaftslage dies bedingt hat, in der Verwertung der Wasserkräfte noch wenig hervorgetreten sind, in neuerer Zeit aber doch dieser Bewegung ihre Aufmerksamkeit zuwenden.

1) Vortrag vor der Civil and Mechanical Engineers Society. The Engineering Magazine 1905. S. auch die Aufstellungen von Gradenwitz in Engineering, Jan. 1903, und Ristori in Engin. 1904.

2) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing, 1903. S. 1578.

Länder mit beginnender Entwicklung der Wasserkraftnutzung.

Rußland beschäftigt sich u. a. mit dem Plane der Kraftausnutzung der Wolchow-Stromschnellen für den elektrischen Schiffszug auf den Ladoga-Kanälen [1]). Die verfügbare Kraft wird zu 30000 PS. berechnet, wovon 25000 PS. zur industriellen Belebung des umliegenden Gebietes und zur Übertragung nach St. Petersburg (etwa 120 km) sowohl für Staatsbedarf wie für den Verkauf an Private verwandt werden sollen, während 5000 PS. zum Zwecke des Schiffszuges erforderlich sind. Dieser Plan wird von seiten der Regierung verfolgt, da es nach den Untersuchungen von Timonoff vorteilhaft erscheint, die Kraftausnutzung der Wolchow-Schnellen, sowie die Errichtung des mechanischen Schleppzuges auf den Ladoga-Kanälen in den Händen der Regierung zu vereinigen. Zur Nutzbarmachung der Wolchow-Stromschnellen ist ein Wehr von 10 m Höhe geplant. Das Wehr, das zur Zeit des Eisganges und Hochwassers niedergelegt wird, soll mit einem Überlauf und mit Schleusen zum Durchlassen von Schiffen ausgestattet werden. Es ist am Ende der Stromschnellen vorgesehen. Ein vom Eisgange geschützter Werkkanal führt zur Kraftzentrale.

Ein weiterer Vorschlag geht dahin, die Verbesserung der Wasserstraße des Dnjepr mit einer Nutzbarmachung der Wasserkräfte seiner Stromschnellen zu verbinden. Nach einer Schätzung können hier etwa 500000 Pferdestärken gewonnen werden. Zur Verwirklichung des Planes würden Stauwerke für Turbinenanlagen herzustellen und in die vorhandenen Kanäle Schleusen einzubauen sein. Der wirtschaftliche Verlust durch die Nichtausnutzung der Wasserkräfte der Dnjeprschnellen wird auf 50 Mill. Rubel jährlich berechnet [2]).

Ein älteres russisches Wasser-Kraftwerk ist das der »Kraenholm-Manufaktur-Narva« bei St. Petersburg, das im Jahre 1860 mit einer Turbine von 900 PS. begründet und nach und nach auf rd. 8000 PS. ausgebaut wurde.

Nach neueren Nachrichten beabsichtigt die russische Eisenbahnverwaltung die Imatra-Fälle — am Nordrande des Ladoga-Sees vom

1) Graftio u. v. Karaulow, Ausnutzung der Wasserkräfte an kanalisierten Flüssen. IX. internat. Schiff.-Kongr. 1902.

2) Zentr. d. Bauv. 1907. S. 564.

Flußе Wuoxen gebildet — für den Betrieb elektrischer Bahnen auszunutzen.

In Finnland ist die Wasserkraftanlage der Holzschleiferei in Kotka zu erwähnen. Das Werk ist nahe am Meere mit einem Flußgefälle von 8 m erbaut; die Gesamtleistung beträgt 3800 PS. Diese Ausführung ist deswegen bemerkenswert, weil das ganze Gebäude einschließlich der Turbinenkammern mittels genieteter schmiedeeiserner Säulen auf der felsigen Untergrabensohle gegründet ist. Die Anlage ist eine eigenartig nordische [1]). Die große Wasserkraft des Kymmeneelf in Finnland wird bisher durch eine Papierfabrik mit 11000 PS. nur unvollkommen ausgenutzt, während hier an 3 Wasserfällen je etwa 28000 PS. nutzbar sein sollen.

Die gesamten nutzbaren Wasserkräfte Finnlands werden auf 300000 PS. angegeben.

In Europa sind hier weiterhin Spanien und Griechenland zu nennen. In ersterem Lande nutzt u. a. die Stadt Saragossa zwei Wasserkräfte von 4000 und 6000 PS., die auf 45 und 80 km mit 30000 Volt Spannung übertragen werden. Die Sociedad Española de Minas betreibt eine Anlage von 1050 PS., bei Bilbao arbeiten 3 Werke mit zus. 16000 PS. Für die Kraft- und Lichtversorgung von Zamora, Salamanca und Valladolid ist am Duero eine Kraftanlage von 6000 PS. Leistung erschlossen. Die Fernleitung findet mit 40000 V. bis auf 110 km statt [2]). Die erste Wasserkraftanlage in Griechenland ist von einer englischen Gesellschaft errichtet worden. Diese nutzt die von den Abhängen des Parnaß und Helikon abfließenden Gewässer, um mit einem Fall von 8—9 m etwa 200 PS. zu gewinnen [3]). Die Kraft dient nach Fernübertragung auf 13 km zum Pumpenbetriebe. In Rumänien wird in dem Elektrizitätswerk Sinaia eine Kraft von 1400 PS. aus einem Gefälle von 17 m gewonnen und elektrisch in der Stadt Sinaia verteilt. Ein Teil der Energie wird mit 11000 V. Spannung auf 35—45 km zur Nutzbarmachung in Petroleumfeldern übertragen. Die Stadt Sofia in Bulgarien hat neuerdings eine Wasserkraftanlage von 3000 PS. Leistung errichtet.

Im fernen Osten ist Japan das Land lebhafter Entwicklung auch auf dem Gebiet der Wasserkraftnutzung. Mehr als 100 elektrische Kraft-

1) Wagenbach, Turbinenanlagen.
2) Österr. Wochenschr. f. d. öff. Baud. 1906, S. 741.
3) Engin. Magazine 1904 u. Elektr. Zeitschr. 1903.

werke sind in Japan in Betrieb und davon werden etwa die Hälfte mit Wasserkraft getrieben. Der ungefähre Vorrat an Wasserkräften des Reichs wird auf 1 000000 PS. geschätzt, die in schnellem Ausbau mittels Fernübertragung begriffen sind. Eine der neuesten Anlagen ist das Kraftwerk zu Kyoto. Der hierzu gehörige Biwasee-Kanal liefert nicht nur das erforderliche Kraftwasser, sondern er stellt auch eine Schiffahrtsverbindung zwischen dem Biwasee und der Osaka-Bai her. Daneben spendet dieser 11 km lange Kanal Wasser für Bewässerung von Reisfeldern. Die Kraftanlage kann auf 4400 PS. ausgebaut werden, zurzeit ist eine Leistungsfähigkeit von 2300 PS. vorhanden. Die Gefällhöhe beträgt 33 m. Die Kraft wird elektrisch für Eisenbahnbetrieb, Kraft und gewerbliche Zwecke auf große Entfernung übertragen [1]).

Ein Kraftwerk für Tokio am Tamagava-Fluß gelegen wird 20000 K.W. mit 40000 V. Spannung auf eine Entfernung von mehr als 40 km übertragen. Ein weiteres Kraftwerk von 32000 K.W. Leistung wird zwischen Kyoto und Osaka erbaut. Auch in Korea hat der japanische Unternehmungsgeist schon einige Wasserkraftanlagen geschaffen [2]).

In Vorderindien ist für den Betrieb der Goldminen in Kolar und für Städteversorgung mit Kraft und Licht eine Wasserkraft von 10000 PS. mit einem Gefälle von 120 m erschlossen worden. Die Kraftanlage liegt an den Wasserfällen des Cauvery und die Fernleitung erfolgt bis auf 150 km.

Im Hochgebirge des Himalaya soll in der Nähe von Srinagar, der Hauptstadt Kaschmirs, das Gefälle des Ihelum, eines Nebenflusses des Indus, in einem elektrischen Kraftwerk von 20000 PS. ausgenutzt werden. Das nutzbare Gefälle wird 133 m betragen. Die Kraft soll auf 300 km ferngeleitet werden. Das Kaschmirtal selbst liegt fast 1600 m über dem Meeresspiegel. Ähnlich, wie man es bei amerikanischen Anlagen unter schwierigen Gelände- und Transportverhältnissen getan hat, müßten hier die Maschinen, um sie an ihren Bestimmungsort bringen zu können, in kleine Sätze von je 100 K.W. Leistung zerlegt werden. Denn das einzige zur Verfügung stehende Beförderungsmittel sind die zweirädrigen Ochsenkarren der Bergbewohner. Als Kraftmaschinen sind Hochdruck-Tangentialräder in Aussicht genommen [3]). Die Anlage, deren

1) Scientific American Supplement 1905.

2) S. Z. d. V. deutsch. Ing. 1907 nach Engineering vom 11. 1. 07.

3) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1906 S. 67. Nähere Mitteilungen über Wasserkraftanlagen in Ostindien s. Zeitschr. f. d. gesamte Turbinenwesen 1906 S. 124 und The Engineer 1906 S. 36.

Erweiterungsfähigkeit bis auf 100000 PS. angegeben wird, soll dem Bahnbetriebe, dem Baggerbetriebe auf dem Ihelumflusse, gewerblichen Zwecken und der Städtebeleuchtung dienen.

In Australien hat die Wasserkraftnutzung besonders in der Kolonie Neuseeland neuerdings Fortschritte gemacht. Die Regierung hatte in den Haushaltplan für 1906/07 einen bedeutenden Betrag für die Vorarbeiten zu schwebenden Projekten vorgesehen. In Queensland haben die Barron Falls erneut die Aufmerksamkeit auf sich gezogen, und ihre Nutzbarmachung ist eingehend untersucht worden. Es wird beabsichtigt, diese Wasserkraft von Staatswegen zu verwerten. In Victoria hofft man durch Stauung des Yarra-Flusses eine Kraft von etwa 20000 PS. zu gewinnen. Alle diese Unternehmen sind, — nach Konsulatsberichten zu schließen, — nicht aussichtlos für liefernde deutsche Firmen [1]).

Schließlich soll hier noch einer neuerdings viel erörterten Wasserkraft in Afrika gedacht werden — es sind dies die Viktoria-Wasserfälle am Zambesi. Livingstone soll als der erste Europäer dieses »achte Weltwunder« im Jahre 1854 gesehen haben. Seitdem ist das Land von vielen besucht worden. Reisende werden in Zukunft, meint die englische Zeitschrift »The Engineer« [2]), anstatt zu den Wundern des Niagara zu eilen, die Viktoria-Fälle am Zambesi aufsuchen. Die Fallhöhe dieser eigenartigen Naturerscheinung beträgt 120 m. Über die gewinnbaren Wasserkräfte gehen z. Z. die Schätzungen noch außerordentlich auseinander. Prof. Ayrton nimmt die rohen Wasserkräfte zu 600000 PS., in min. sogar auf 300000 PS. an [3]). Danach würde die Bedeutung dieser Fälle weit hinter der vom Niagara zurückstehen.

Für die Ausnutzung der Viktoriafälle ist bereits einem Syndikat die Konzession auf 75 Jahre erteilt worden. Es sind u. a. Entwürfe aufgestellt worden, nach denen die hydroelektrische Energie auf 400 km im Umkreise verteilt werden soll für städtische Zwecke, für die Verwertung in Kohlenfeldern sowie in Gold- und Kupferminen. Das Land wird gegenwärtig durch den Bau einer Eisenbahn aufgeschlossen und eine kühn angelegte eiserne Bogenbrücke überspannt den Fluß unmittelbar unterhalb der Wasserfälle. Eine bedeutende Entwicklung werden hier sicherlich die nächsten Jahrzehnte bringen [4]).

1) Dinglers Pol. Journal 1907 Heft 17.
2) 1905.
3) Engineering 22. 9. 1905; E. T. Z. 1905 S. 1162.
4) Le Génie Civil, Jan. 1906.

Neuere Pläne gehen dahin, die Kraft für Transvaal zu gewinnen. Es sollen zunächst 50000 PS. erschlossen werden, während die erteilte Konzession auf 250000 PS. lautet. Die Übertragungsstrecke nach Johannesburg würde zwar rd. 1100 km lang sein (Spannung 150000 V.), doch hält man diese Entfernung nach den in Amerika gewonnenen Erfahrungen nicht für unüberwindlich, wenn am Ende der Fernleitung eine Reserve geschaffen wird. Die Übertragung würde durch hochgespannten Gleichstrom erfolgen. Die Reserve für die Betriebssicherheit soll darin bestehen, daß am Ende der Übertragung ein hydraulischer Akkumulator gebildet wird, indem ein Teil des elektrischen Stromes Wasser nach einem hochgelegenen Behälter (200 m) hebt, dessen Gefällhöhe im Bedarfsfalle ausgenutzt wird. Zudem soll eine Dampfaushilfe von 20000 PS. Leistung hergestellt werden. Die technischen Schwierigkeiten des Wasserkraftwerkes werden geringer bewertet, wie bei den Niagarafällen, da der Eisgang am Zambesi fortfällt und nur wenig treibende Körper vorhanden sind.

2. Der heutige Stand der Wasserkraftnutzung in den Kulturländern.

A. Die Schweiz.

Die Schweiz ist im eigentlichen Sinne das Land der »weißen Kohle«. Der Fremde, der um die Zeit der Schneeschmelze in die Täler eindringt, ist überwältigt von der Masse des von den Bergen niederströmenden Wassers. Und der Ingenieur, dessen Blick gewohnt ist, die Schönheiten der Natur auch unter praktischen Gesichtspunkten zu betrachten, übersieht bald die reiche Möglichkeit, diese Wasservorräte für mechanische Arbeitsleistungen nutzbar zu machen. Die eigenartigen Gestaltungen des Geländes und der Gebirgsformationen bedeuten für ihn tausend Gelegenheiten, den natürlichen Wasserfluß durch künstliche Maßnahmen zu fassen und in seiner Wirksamkeit zu vervielfachen. Und das ist nicht der Blick eines Idealisten, der sich in schönen Träumen nutzlos verliert — der Gang der tatsächlichen Entwicklung gibt ihm Recht. Nirgends steht wie in der Schweiz auf engem Raume die Verwertung der Wasserkräfte in so hoher Blüte. Es bedarf dessen nicht, daß man mit eifrigem Bemühen bis an die Stätten der Kraftgewinnung — oft verborgen und

schwer zugänglich — vordringt, dem Beobachter wird an vielen äußeren Zeichen diese Regsamkeit kund. Das Land ist überspannt mit einem engen Netz von Drähten, die die Energie verteilen, und allüberall findet man elektrische Beleuchtung, die ihre Speisung aus den Wasserkräften erhält. Dieses Land, obwohl bar an Kohlenlagern, ist auf diesem wesentlichen Kulturgebiet anderen kohlenbesitzenden Ländern weit voraus. Der elektrische Betrieb der Eisenbahnen ist hier zur Wirklichkeit geworden. Die Schweiz besitzt an elektrisch betriebenen Vollbahnen: Burgdorf–Thun, Freiburg–Murten–Ins, Orbe–Chavornay, Montreux–Spietz u. a. m. Bemerkenswert ist, daß die beiden großen Tunnelbahnen — die Bahn im Simplontunnel und die St. Gotthardbahn — hydroelektrischen Betrieb haben bezw. erhalten werden. Ein eigenartiges Beispiel bietet hierfür die Jungfraubahn. Aus den Gewässern, die die Jungfrau von ihren schneebedeckten Kuppen herunter sendet, wird im Tale bei Lauterbrunnen Kraft erzeugt, die die nach der Spitze der Jungfrau führende Zahnradbahn elektrisch antreibt. So gelangt die niedergehende Energie im engen Kreislauf nutzbringend zu ihrem Ursprungsort zurück.

Die Ausnutzung der Wasserkräfte ist hier schon Jahrhundert alt, wenn zwar sie sich früher, wie überall, in den einfachsten Formen in den Mühlen und Schleifereien abspielte. In Genf wurde in der Rhone bereits im Jahre 1708 ein hydraulisches Kraftwerk errichtet; eine zweite Wasserkraftanlage wurde dort im Jahre 1843 erbaut. Der erste lebhafte Aufschwung begann um das Jahr 1860, hervorgerufen durch den Wettbewerb der Dampfmaschine.

Es ist naturgemäß, daß aus solch günstigen Vorbedingungen die Industrie reichen Segen zieht und in lebhafter Entwicklung begriffen ist. Man darf dabei allerdings nicht übersehen, daß ein Teil dieses Aufschwunges in dem lebhaften Fremdenverkehr der Schweiz begründet ist, der das Bedürfnis nach erhöhter Annehmlichkeit — elektrischer Beleuchtung der Hotels usw. — hervorgerufen hat und ganze Industrien beschäftigt. Charakteristisch dafür ist, daß z. B. in Luzern, wo die großen Hotels und die Promenade des Abends mit verschwenderischer Beleuchtung ausgestattet sind — der Lichtbedarf im Sommer stärker als im Winter ist. Aber auch der Landwirtschaft, die zwar nicht bedeutend ist, liefert der Strom die Betriebskraft (Lac de Joux). Von den industriellen Betrieben ist im besondern die Elektrochemie (Aluminium) hervorzuheben, die aus der Elektrizität Nutzen zieht. Auch die Fabriken suchen neuer-

dings regeren Anschluß an die hydroelektrischen Werke (Escher, Wyß Co. in Zürich). Für die Förderung der Wasserkraftunternehmungen sind bedeutende Gesellschaften begründet so z. B. die Schweizerische Gesellschaft für elektrische Industrie in Basel, die »Bank für elektrische Unternehmungen in Zürich«, die Gesellschaft »Motor« für angewandte Elektrizität u. a.

Wasserwirtschaftliche Verhältnisse.

Das Hochgebirge steht zum Mittelland im Gegensatz dadurch, daß jenes im Sommer, in der Zeit der Schneeschmelze, Überfluß an Wasser hat und kleineren Zufluß in der Frostperiode des Winters. Ein ungleichmäßiger Wasserabfluß ist darum auch in den aus den Gletschern gespeisten Hochgebirgsflüssen vorhanden und die Kraftleistung eine wechselnde. Aber doch sind die Gletscher große Kraftspeicher und überdies hat die Schweiz in ihrer natürlichen Seenkette am nördlichen Abfall gegen den Rhein hin vorzügliche Ausgleichbecken, so daß sich unterhalb der Ausflüsse dieser Seen große und gleichmäßige Wasserkräfte erschließen lassen. Nach den Angaben von Gelpke[1]) sind durch die Juragewässer-Korrektion und die künstliche Regelung der Abflüsse des Brienzer, Thuner, Bieler, Vierwaldstätter, Zuger und Züricher Sees die größten Hochwasser des Rheins unterhalb Basel um 1000—1500 cbm sekundlich zurückgegangen und seine niederen Beharrungszustände um 50—100 cbm sekundlich gehoben. Es ist ohne weiteres klar, welchen Einfluß eine solche Ausgleichung für die Wasserkraftausnutzung auf der Rheinstrecke vom Bodensee bis Basel, wo das Gefälle ein außerordentlich starkes ist, haben muß. Dabei lassen sich, wie neuere Untersuchungen ergeben haben, durch weitere technisch und wirtschaftlich wohl durchführbare Regulierungen dieser Seen, im besonderen des Bodensees, die Abflußmengen noch wesentlich beeinflussen.

Auch für künstliche Staubecken sind in der Schweiz nicht ungünstige Vorbedingungen vorhanden, wie neuere Anlagen erweisen. Es haben sich Gebirgskessel — an sich ohne Zuflußgebiet — durch künstliche Wasserzuführung in Ausgleichseen verwandeln lassen. Ein Beispiel hierfür bildet der Stauweiher des Elektrizitätswerkes Kubel[2]). An anderen Stellen würden Gebirgsdurchbrüche Gelegenheit dazu bieten, wie etwa

1) Die Ausdehnung der Großschiffahrt auf dem Rhein von Straßburg nach Basel.
2) Siehe S. 174.

in der Aareschlucht bei Meiringen. Man erkennt an den Wandungen dieser überaus engen Schlucht glatte, eigenartig gehöhlte Flächen, entstanden durch Auswaschung, und es täuscht wohl nicht, daß am Ende des etwa 1500 m langen Durchbruchs an den Berghängen sich noch der ehemalige Absturz der Aare in das untere Tal darstellt. Die Fallhöhe mag 80—100 m betragen haben. Oberhalb der Schlucht liegt ein weiter Kessel, und es wäre technisch ein leichtes und mit geringen Kosten zu bewirken, durch eine Staumauer von nur wenigen Metern Länge einen bedeutenden See zu bilden. Allerdings würde die oberhalb gelegene Ortschaft dadurch zum Teil unter Wasser gesetzt. Es könnte hier eine ansehnliche Wasserkraftanlage geschaffen werden. Aber es ist für die von Fremden viel besuchte Aareschlucht die Frage, ob der Wert der nutzbar gemachten Wasserkraft größer wäre als die Einnahmen, die heute diese Schlucht als Sehenswürdigkeit einbringt. Die gleiche Erwägung gilt übrigens für manche schweizerischen Wasserfälle.

Wenn man sich die Formationen, die großen Niederschlagshöhen der Schweiz, die zentrale Lage des Landes inmitten des europäischen Wirtschaftslebens und die Regsamkeit der Bevölkerung für gewerbliche Betätigung und den dadurch hervorgerufenen Bedarf an Kraft und Licht vergegenwärtigt, so nimmt es nicht wunder, wenn dort z. Z. so viele Wasserkraftwerke entstehen und Pläne zu sehr bedeutenden Kraftausnutzungen sich neuerdings geradezu häufen.

Zschokke hat nach dem Stande von 1903 die in der Schweiz tatsächlich ausgebeuteten Wasserkräfte nach ihren Mittelwerten ermittelt und wie folgt zusammengestellt. Die Genauigkeit der Tabelle 67 soll 5 bis 10 v. H. betragen.

Tab. 67. Nutzbar gemachte Wasserkräfte der Schweiz. 1903.

Anlagen für Erzeugung von Genußmitteln	10070 PS.
Für die technische Industrie	35170 »
Für Maschinenfabriken	6440 »
Für Erzeugung elektrischer Energie	161800 »
Für chemische Industrie, Papierfabrikation u. a. m. . . .	57320 »
Zus.	270800 PS.

Die Statistik von Wyssling[1]) über die öffentlichen Elektrizitätswerke der Schweiz, die mit dem Jahre 1901 abschließt, umfaßt die

1) Schweiz. Bauzeitg. 1902.

Elektrizitätswerke, welche elektrischen Strom an Dritte abgeben, die elektrischen Bahnen und die elektrischen Kraftübertragungen, die zwar nur den Besitzern dienen, aber deren Leitungen über öffentliche Grundflächen gezogen sind. Eigentliche Privatanlagen z. B. für Fabriken sind hierbei nicht berücksichtigt.

Danach sind im ganzen 300 Unternehmungen für elektrische Stromabgabe vorhanden. Die Gesamtleistungen aller dieser Kraftanlagen ist rd. 110000 KW. oder rd. 160000 PS. Von dieser Leistung entfallen 95 v. H. auf die Ausnutzung der Wasserkräfte, 5 v. H. auf Wärmekraftmaschinen. Von den 110000 KW. verteilen sich

13 v. H. auf den elektrischen Bahnbetrieb,
23 v. H. auf die Zwecke der Elektrochemie,
20—25 v. H. auf den Motorenbetrieb der Industrie,
40—45 v. H. auf die Beleuchtung.

Hinsichtlich der Größe der Kraftwerke ist von Wyssling gefunden worden, daß die mittlere Leistungsfähigkeit etwa 500 KW. beträgt. Elf Werke über 3000 KW. liefern die Hälfte der Gesamtleistung, 21 Werke haben 1000—3000 KW. Stärke, 12 Werke 500—1000 KW., 67 Werke 100—500 KW. und 87 Werke weisen kleinere Leistungen auf. Die große Zahl der kleinen Werke hängt damit zusammen, daß viele Anlagen billig erschlossene Wasserkräfte für die Beleuchtung kleiner Orte ausnutzen. Die neuere Richtung der schweizerischen Wasserkraftunternehmen geht aber auf die Konzentrierung großer Kräfte aus.

Eine neuere Übersicht gibt die »Karte der Elektrizitätswerke der Schweiz«, herausgegeben vom Schweizerischen elektrotechnischen Verein im Jahre 1907. Man ersieht daraus, daß vornehmlich am Nordabhang der Alpen sowie im nordwestlichen Teile des Landes in den Bezirken um den Genfer- und Neuchateller See der elektrische Strom die ausgiebigste Verwertung erfährt. Eine Beilage zu dieser Karte, die auf der gleichen Grundlage wie die vorerwähnte Statistik aufgebaut ist, gibt in tabellarischer Form ein Verzeichnis der Elektrizitätswerke. Danach sind zurzeit rd. 260 Werke mit reinem Wasserkraftbetrieb und 70 Werke mit gemischter Betriebsart (Wasserkraft mit Dampfmaschinen, Gas- oder Petroleummotoren) vorhanden. Die Größe der Leistung schwankt zwischen 3 K.W. und 24000 K.W. Nur in 5 Fällen ist lediglich Dampf als Betriebskraft angegeben, darunter befindet sich als einziges größeres das Kraftwerk für die kantonalen Straßenbahnen in Basel.

Das schweizerische hydrometrische Bureau, das im Jahre 1895 ins Leben gerufen wurde, hat begonnen, in allen Landesteilen Wasserführung und Gefälle der Flüsse aufzunehmen und wird in der Lage sein, in wenigen Jahren ein genaues Bild der ausbauwürdigen Wasserkräfte zu geben, das eine Art Wasserkataster darstellen wird[1]). Die gegenwärtigen Angaben über die Gesamtgröße der schweizerischen Wasserkräfte sind sehr schwankend. Bemerkt sei, daß sie nach neuesten Untersuchungen bis auf 1 ½ Mill. PS. geschätzt werden.

Nach den Mitteilungen von Prof. Zschokke beträgt die mittlere jährliche Niederschlagshöhe der Schweiz 1250 mm, die geringste Niederschlagshöhe ist 800 mm, die höchste 2000 mm. Die mittlere Regenmenge einiger Orte ist:

Interlaken	1150 mm	
Zürich	1187 »	(736—1988 mm)
Bern	984 »	
St. Gallen	1367 »	
Einsiedeln	1611 »	
Lugano	1632 »	

Niederschlagsgebiet des Elektrizitätswerkes Luzern-Engelberg (Mittlere Meereshöhe 1750 m).

i. Max.	2138 mm
i. Mitt.	1700 »
i. Min.	1331 »

Im Durchschnitt fließen aus der Schweiz in der Sekunde nach Abzug einer Verdunstungsmenge von 10 v. H. rd. 150 cbm Wasser ab.

Die schweizerische Hochebene, wo die Industrie ihren Hauptsitz hat, liegt durchschnittlich 400 m über Meer, während die bewohnten Gegenden bis 1200 m über Meer hinaufreichen. Der Rhein verläßt das Land bei 248 m Höhe, die Rhone bei 350 m und der Tessin bei 197 m. Hieraus ergibt sich, wie Zschokke hervorhebt, daß die oben angegebenen Wassermengen in den bewohnten Gegenden mit bedeutendem Gefälle abfließen und große Wasserkräfte liefern[2]).

1) S. S. 11 u. Epper, Die Entwicklung der Hydrometrie in der Schweiz.
2) Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung. 1905.

Schweizerische Wasserkraftanlagen.

Außerordentlich mannigfach sind die Aufgaben, die sich hier dem Ingenieur darbieten. Es handelt sich meist nicht um die einfache Fassung des fließenden Wassers, sondern um die Ersinnung geschickter, mit den Mitteln der neueren Technik zu gestaltender Anordnungen, um die vorteilhafteste Kraftausbeute zu finden. Die hydraulische Technik ist darum in der Schweiz in hohem Maße ausgebildet. Im besonderen gilt dies von den Kraftanlagen des Hochgebirges, die eine Gefällhöhe bis zu 950 m (Vouvry)[1]) ausnutzen. Die Stollen- und Hochdruckleitungen des Kraftwassers mit allen ihren eigenartigen Sicherheitsmaßregeln für den Betrieb und die Konstruktion der Turbinen sind Spezialgebiete der schweizerischen Industrie und erregen die Aufmerksamkeit aller derer, denen der Ausbau von Wasserkraftwerken obliegt. Die Niederdruckwerke, unterhalb der Seenkette gelegen, mit Gefällen bis etwa 12 m, sind beachtenswert wegen ihrer bedeutenden Stärke [Chèvres an der Rhone 12—18000 PS.[2]), Rheinfelden 16800 PS.]. Das Kraftverteilungssystem weist eine Reihe von Überlandzentralen mit 40—50 km Fernleitung und hohen Spannungen auf. Es ist z. B. ein fast zusammenhängendes Verteilungsnetz von Martigny über Lausanne, Freiburg, Biel; dann längs der Aare und Limmat bis nach Zürich vorhanden.

Es würde zu weit führen, in diesem kurzen Abriß auf die reiche Zahl der schweizerischen Kraftwerke im einzelnen einzugehen. Aber es mag angebracht sein, um ein Bild der lebhaften Entwicklung zu geben, die größeren und bemerkenswerten der in den letzten Jahren entstandenen Werke aufzuführen, wie dies in nachstehender Tabelle 68 geschehen ist: Tab. 69 gibt eine Übersicht über die Verteilung der gegenwärtigen Wasserkraftnutzung auf die einzelnen Kantone.

Dazu möge erläuternd bemerkt werden, daß sich die Wasserkraftunternehmungen in zwei Gruppen unterscheiden lassen:

1. Kraftwerke mit kleinem Gefälle und großer Wassermenge, bei denen das Wasser in offenem Kanal zufließt.
2. Kraftwerke mit großem Gefälle und geringer Wassermenge (in max. 10 cbm in der Sek.), bei denen das Wasser mittels eiserner Rohrleitungen den Turbinen zugeführt wird.

1) Le Génie Civil 1902.
2) Siehe Abb. 126 u. 178.

Tabelle 68. Neuere Wasserkraftwerke in der Schweiz.

Ort	Gefälle m	Leistung PS.	Verwendung K. = Kraft, L. = Licht, Ü.-Z = Überlandzentrale.	Bemerkungen
Niederdruckwerke.				
Chèvres (Rhone) . . .	4,5—8,5	12—18000	Kraft und Licht	Der Stadt Genf gehörig. Außer Genf beziehen noch 20 Ortschaften; im ganzen 120000 Einw. den Strom. Die Stadt G. plant ein neues Kraftwerk 7 km von Chèvres bei La Plaine für 20000 PS.
La Coulouvrenière . .	1,7—3,7	3 800	K.u.Wasserhebung.	Der Stadt Genf gehörig. Kraftwasserverteilung[1]).
Rheinfelden (Rhein) .	2,8—4,9	16 800	Elektrochemische Zwecke, K. u. L.	Auf der Grenzstrecke zwischen Baden u. der Schweiz liegend, mit Dampfaushilfe von 2000 PS.
Wangen a. d. Aare. .	6,3—9,3	10 500	K. u. L.	Deutsch. Bauz. 1903; Z. d. Ver. deutsch. Ing. 1906.
Betznau (Aare)	3,3—5,0	9—12 000 20000 einschl. Dampfres.	Ü.-Z. für K. u. L.	Fernübertragung mit 8000 und 20000 Volt. Mit dem Werke ist eine Dampfreserve von 7000 PS. verbunden. Im Jahre 1903 versorgte das Werk 28 Ortschaften mit 60000 Einw.. 8 Fabriken und 2 elektr. Straßenbahnen.
Wynau (Aare).	3,0—4,0	3 000	K. u. L., Ü.-Z. für 190 Ortschaften.	Verteilung mit 8000 Volt. Dampfreserve geplant.
Schaffhausen	4,2—4,8	2 700	K. u. L.	Erweiterung beschlossen. S. Abschn. III. A. S. 96.
Olten-Aarburg	—	3 200	K. u. L.	S. S. 96.
Ruppoldingen	2—4	2 500	Ü.-Z.	Versorgung von 24 Ortschaften mit 44000 Einw. mit Dampfaushilfe in Zürich.
Zufikon (Reuß)	4—5	4 000	Ü.-Z.	
Kraftwerke am rheintalischen Binnenkanal	je 3	3 Kraftwerke von je 500 bis 750 PS.	Ü.-Z. Gemeins. Verteilungsnetz von etwa 56 km Länge, 10000 V.	Seit Januar 1906 in Betrieb.
Rathausen bei Luzern	4,1—4,8	1 500	K. u. L.	Fernleitung auf 5 km.
Zufikon—Bremgarten (Reuß)	5,1—5,3	1 300	K. u. L.	Fernleitung auf 18 km.
Zürich.	1,5—3,0	1 200	Wasserhebg.,K.u.L.	
Hagneck	5,8—9,0	7 500	K.u.L. Versorgt 34 Orte mit fast 90000 Einw.	Am Bieler See. 5 Turbinen zu 1500 PS. Arbeitet zusammen mit dem Kanderwerk.
Interlaken.	3,50	600	K. u. L.	Am Thuner See.

1) Siehe S. 313. Einige Mitteilungen über die Genfer Kraftwerke bei De La Brosse und in Notes et Croquis Techniques sur Genève. 1901.

Ort	Gefälle m	Leistung PS.	Verwendung K. = Kraft, L. = Licht, Ü.-Z. = Überland-zentrale.	Bemerkungen
		Hochdruckwerke.		
Val de Travers	230 in 4 Gefällstufen	10 000	Wasserhebung, K. u. L.	Bei Neuchatel.
Werk am Lac de Joux et de l'Orbe	237	6 000	Ü.-Z. 13 500 Volt.	Kraftwerke La Dernier und Montcherand. Erweiterung auf 10 000 PS. vorgesehen.
Kanderwerk bei Spiez	65	9 200	Bahnzwecke. Ausserdem werden ungefähr 30 Ortschaften mit 125 000 E. m. Elektrizität versorgt.	Im Jahre 1906 wurde die zweite Druckleitung verlegt, die Wasserfassung erweitert und die Leistung von 6000 auf 9200 PS. gebracht.
Kubel	94	5 000 nach der Erweiterung 8 500	K. u. L.	Mit Ausgleichbecken von 1,7 Mill. cbm. Stauinhalt. Verteilung auf 42 km mit 10000 Volt. Mit Dampfaushilfe von 1000 PS. Es werden etwa 23 Ortschaft. mit 60 000 Einwohn. versorgt.
St. Maurice-Lausanne (Bois Noir)	33 (27—39)	5 000	Versorgg. von Lausanne mit elektrischer Energie.	Übertragung auf 56 km mit bis 22 500 Volt. Insgesamt 15 000 PS. vorhanden.
Linthal	248	1 000	Ü.-Z. für K. u. L.	Fernleitung mit 5 200 Volt auf einige Kilometer.
Neuhausen	18—20	4 000	Elektrochemische Zwecke.	
Lauterbrunnen	40	3 150	K. für die Jungfraubahn.	Wasserzuleit. 690 m, Druckleit. 625 m, Durchm. 1,80 m, Mit Sauggasaushilfe. Erweiterung um 9000 PS. an der schwarzen Lutschine gesichert.
Sihlwerk	77	1 600	K. u. L.	Mit 600 bis 900 PS. Dampfaushilfe.
Montbovon (Romont)	57—64	5 400	Elektr. Energie. 4 Turb. je 1 100 PS. 2 » » 500 » Versorgt 50 Ortschaften u. elektrische Bahnen.	
Davos.	100	1 400	L.	
Bellinzona	550	1 780	Werkstättenzwecke der Gotthardbahn.	
Luzern—Engelberg .	300	8 000	Ü.-Z. für K. u. L. Eisenbahnbetrieb.	Auf 16 000 PS. erweiterungsfähig. Fernl. mit 6000 Volt auf 4,5 km u. mit 27 000 Volt auf 28 km nach Luzern und 15 Ortschaften.
Vernayaz (Rhone) . .	500	6 000	Elektrochemische Zwecke.	6 Turbinen, je 1000 PS.

Ort	Gefälle m	Leistung PS.	Verwendung K. = Kraft, L. = Licht, Ü.-Z. = Überlandzentrale.	Bemerkungen
Vouvry	950	6 700	Im wesentlichen Beleuchtung.	Die Turbinen werden aus dem 1416 m ü. d. M. liegenden Taney-See gespeist. Das höchste bisher genutzte Gefälle. Es stehen im ganzen 27000 PS. während jährlich 1000 Stunden zur Verfügung.
Aigle		4 500		
Vuargny		2 500		
Gampel		6 800		
Thusy-Hauterive (bei Freiburg)	67	6 000	Ü.-Z. für K. u. L., Bahnbetrieb.	6 Turbinen je 1100 PS. Absatzgebiet 186 Gemeinden mit 105 000 E.
Montreux		3 300		
Avançon-Bex		2 400		
Clées-Yverdon		1 800		
Vallorbe		2 700		
St. Moritz		2 000		2 Werke.
Thusis		3 800		
Lugano		2 000		
Gurtnellen		5 000		
Schwyz		2 200		
Brig	52	2 000	Diente f. den Bohr- und Ventilationsbetrieb beim Bau d. Simplontunnels, jetzt f. dessen elektrischen Bahnbetrieb zus. mit der Kraftanlage Iselle (1500 PS.). Beide Kraftwerke sind durch Leitungen zu gemeinsamer Kraftleistung verbunden.	Mit Kanal- und Stollenleitung. Bemerkenswert ist die Führung des Oberkanals in einer Eisenbetonrinne auf Eisenbetonstützen. E. T. Z. 1907, S. 225. Le Génie Civil 15. 9. 06.
Löntsch (Kt. Glarus)	355	6 000	K. u. L.	See-Stauung. Spätere Leistung 36000 PS., zurzeit im Bau. Z. d. V. d. Ing. 1907, S. 1043.
Albula	140	20 000	Versorgg. der Stadt Zürich.	Zurzeit im Bau.

Ein Unternehmen möge hier besonders Erwähnung finden, nicht sowohl, weil es technisch in besonderer Weise bemerkenswert ist, sondern wegen der wirtschaftlichen Tendenz, die es verfolgt. Es ist dies das Gewerbegebäude und Wasserkraftwerk in Luzern. Der Hauptzweck dieses der Korporationsgemeinde Luzern gehörigen Baues geht dahin, den Kleingewerbetreibenden Werkstättenräume und Kraft zu möglichst

billigen Bedingungen zur Verfügung zu stellen. In Berücksichtigung der Tatsache, daß die finanziellen Kräfte des mittleren Arbeiters sich eben nur bis zur Beschaffung des Betriebsgeschirrs und der Rohstoffe erstrecken, hoffte man dadurch den kleinen Mann gegen die großen Sondergeschäfte mit Maschinenbetrieb besser wettbewerbfähig zu machen. Die Korporationsgemeinde wurde Besitzerin der Wasserkraft der Reuß mit im ganzen 180 PS. Ein Teil der Anlage, welchem 3 Turbinen zu je 30 PS. zur Verfügung steht, befindet sich seit 1889 im Betriebe. Das im Zusammenhange mit dem Kraftwerk errichtete Gewerbegebäude hat eine

Tabelle 69. Verteilung der gegenwärtigen Wasserkraftnutzung der Schweiz auf die einzelnen Kantone.

Aargau	36000 PS.
Bern	30000 »
Wallis	21000 »
Genf	19000 »
Freiburg	18000 »
Waadt	17000 »
Graubünden (der an Wasserkräften reichste Kanton)	10000 »
Tessin	7000 »
Zürich (Stadt)	1200 »
Luzern (Rathausen)	1600 »
Uri	5000 »
Schwyz (Engelberg)	2200 »
Oberwalden	6000 »
Glarus	1000 »
Schaffhausen (Neuhausen)	4000 »
Appenzell a. R. (Kubel)	4000 »

Grundfläche von 770 qm und bietet in 3 Stockwerken 1500 qm Werkstättenraum. Durch alle Räume des Gebäudes sind Transmissionen geführt, an denen die Mieter die gewünschte Kraft von der Welle abziehen können. Werkstätten werden auf beliebige Dauer an jedermann abgegeben zu 6—8 Mk. jährlich für 1 qm Grundfläche. Der Preis für die Kraft von der Welle ab beträgt für 1 PS. 208 Mk., für $^1/_2$ PS. 144 Mk., für $^1/_4$ PS. 80 Mk. jährlich bei täglich 13—14stündiger Benutzung. Der Mieter ist außerdem verpflichtet, für Beleuchtung sich des vom Werk hergestellten elektrischen Lichtes zu bedienen. Gegenwärtig ist das Gewerbegebäude mit 28 Meistern und ungefähr 90 Arbeitern und Lehrlingen besetzt; es sind darunter Drechsler, Mechaniker, Feinschleifer, Schreiner, Schlosser, Diamantschleifer, Metzger, Buchdrucker und so

ziemlich alle Arten von Gewerben zu finden. Da die Baukosten dieses gemeinnützigen Werkes 352000 Mk. und die Jahreseinnahmen etwa 16000 Mk. betragen, so ist eine Verzinsung von $4^1/_2$ v. H. vorhanden[1]). Ähnliche Unternehmungen hat Bern und Schaffhausen zu verzeichnen.

Aber auch in Deutschland haben wir an der Wupper nicht unähnliche Verhältnisse. Hier findet man durch Wasser betriebene Schleifereien, in denen verschiedene Besitzer ihrem Gewerbe nachgehen, derart, daß dem einzelnen nur etwa ein Schleifstein und das Anrecht auf die zugehörige Wasserkraft und ein entsprechender Anteil an Grund und Boden zusteht.

Ein sozialwirtschaftlich bemerkenswertes Unternehmen sind ferner die beiden Wasserkraftwerke von La Dernier und Montcherand in der Nähe des Neuchateller Sees mit zusammen 6000 PS. Diese Werke versorgen etwa ein Gebiet von 1300 qkm mit 92000 Einwohnern in 212 schweizerischen Gemeinden mit Kraft und Licht. Das Hochspannungsnetz umfaßt rd. 600 km. Es ist dies ein interessantes Bild gewerblicher Entwicklung auf dem platten Lande. Da diese kleinen Gemeinden — die kleinsten haben nicht viel mehr als 200, die größte etwa 5000 Einwohner — finanziell zu wenig leistungsfähig waren, sind die Kraftwerke von einer Gesellschaft mit staatlicher Unterstützung ins Leben gerufen worden. Die Konzession ist bis zum Jahre 1932 erteilt; mit diesem Zeitpunkt hat der Staat das Recht des Rückkaufs. Die angeschlossenen Gemeinden haben sich durch Verträge auf gleiche Zeit das Recht des Bezuges der elektrischen Energie für ihre Bezirke gesichert. Die Gesellschaft hat sämtliche elektrischen Einrichtungen selbst hergestellt und hält sie in Betrieb. Den Gemeinden ist das spätere Ankaufsrecht der Leitungsnetze vorbehalten.

Über den Betrieb und die Betriebsergebnisse einiger schweizerischer Werke s. Abschn. IV B.

Von größeren geplanten oder in der Ausführung begriffenen Kraftanlagen der Schweiz sei u. a. der Entwurf des Etzel- und Wäggitalwerkes mit zus. 100000 PS. hervorgehoben. Das Etzelwerk soll in der Nähe des Züricher Sees an der Sihl mit einer künstlichen Aufstauung von 97 Mill. cbm Wasser errichtet werden. Das nutzbare Gefälle wird zu 460 m angegeben. Die gewinnbaren Kräfte betragen 30000 PS. bei teilweisem und 60000 PS. bei vollem Ausbau; die Kosten sind zu rd. 23

1) Das Gewerbegebäude und Wasserwerk am Mühlenplatz in Luzern. Broschüre des Werkes.

bzw. 37 Mill Mk. veranschlagt. Die Stadt Zürich baut z. Z. an der Albula ein Kraftwerk von 20000 PS., das ein Gefälle von 140 m ausnutzen soll.

Ein Elektrizitätswerk bei Meiringen soll 50000 PS., die Ableitung des Zuger in den Vierwaldstätter See ebenfalls 50000 PS. und das Silser-Bergeller Werk 43000 PS. liefern. Weiterhin ist seitens der schweizerischen und badischen Regierung die Genehmigung zur Ausnutzung von 48300 PS. am Rhein bei Laufenburg erteilt. Die gesamten nutzbaren Wasserkräfte des Rheins vom Bodensee bis Basel werden auf etwa 150000 PS. geschätzt[1]). Es mögen diese wenigen herausgegriffenen Beispiele genügen, um die Bedeutung der Wasserkraftausnutzung für die zukünftige Entwicklung der Schweiz darzutun. Die Frage des elektrischen Bahnbetriebes auf den Staatsbahnen aus dem Wasserreichtum des Landes ist in den letzten Jahren wiederholt von den schweizerischen Ingenieuren geprüft worden[2]). Eine Aufrechnung hat u. a. Thormann für den elektrischen Betrieb des Netzes der ehemaligen schweizerischen Nordostbahn aufgestellt. Die Bahnlänge betrug 779 km und die erforderliche normale Leistung in den Kraftwerken wird zu 16000 PS. berechnet. Im höchsten Falle können zeitweise 84000 PS. gebraucht werden. In Betracht käme für diese Leistung das vorerwähnte Etzelwerk, bei dem die Wasseraufspeicherung im Sammelbecken gestatten würde, vorübergehend in gewissen Grenzen einen beliebig großen Höchstbedarf zu decken[3]).

Wirtschaftspolitische Verhältnisse der Wasserkraftnutzung.

Die weiteste Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit haben seit einigen Jahren die Bestrebungen auf Verstaatlichung der schweizerischen Wasserkräfte auf sich gelenkt, und diese Frage wird gegenwärtig im Volke wie in der Presse des Landes auf das lebhafteste erörtert. Es mag deshalb angezeigt erscheinen, diese Bewegung hier kurz zu verfolgen.

Die Ausbeute der Wasserkräfte geschieht in der Schweiz gegenwärtig

---

1) Näheres in Abschn. V, 2, H.

2) Siehe S. 265.

3) Schweiz. Bauzeitg. 1902. Bericht der schweizerischen Studienkommission für elektrischen Bahnbetrieb s. Schweiz. Bauzeitg. Dez. 1905. Siehe auch Schweiz. Bauztg. Okt. 1906 und Elektr. Zeitschr. 1906 S. 296.

meist durch Private. Die staatliche Genehmigung durch den Bund oder die Kantone wird auf unbegrenzte Zeit oder neuerdings meist auf eine bestimmte Reihe von Jahren (40 bis 99 Jahre) gegen kleinen Wasserzins erteilt. Diese zeitliche Begrenzung greift hauptsächlich zurück auf die Bestrebungen der Gesellschaft Freiland vom Jahre 1895. Dabei hat in der Festsetzung der Einzelheiten große Willkür Platz gegriffen, weil ein einheitliches Wasserrecht fehlt. Auf dem Gebiete des Elektrizitätsrechtes besteht seit 1903 ein Bundesgesetz, das u. a. den Bundesrat ermächtigt, den Eigentümern elektrischer Anlagen und den Beziehern elektrischer Energie das Recht der Enteignung für Herstellung elektrischer Anlagen zu erteilen.

Das Wasserrecht soll geregelt werden in einem schweizerischen Zivilgesetzbuch, dessen Vorentwurf z. Z. fertiggestellt ist. Derselbe enthält u. a. wasserrechtliche Bestimmungen über die Erteilung von Wasserrechtskonzessionen an öffentlichen Gewässern durch die Kantone und den Bund[1]).

Die Bestrebungen auf Verstaatlichung der Wasserkräfte setzten etwa um das Jahr 1890 ein, nachdem es gelungen war, die Aufgabe der elektrischen Kraftfernleitung in praktisch brauchbarer Form zu lösen, infolgedessen die vorerwähnten großen Kraftwerke nacheinander entstanden. Man erblickte in dem regellosen Genehmigungsverfahren eine Schädigung der Allgemeinheit, indem darauf hingewiesen wurde, daß die systemlose Ausbeute der Wasservorräte durch Private zu einer Vergeudung dieses natürlichen Schatzes führen müsse. Und tatsächlich haben neuere Untersuchungen erwiesen, daß durch kleinliche Anschauungen unbedeutende Kraftanlagen geschaffen sind, die die Möglichkeit eines großzügigen Ausbaues an vielen Stellen für alle Zeiten vernichtet haben. Affolter schreibt u. a.: »Wir kennen zwei Zentralen, die heute ohne Dampfaushilfe 4700 Pferdestärken liefern, aber 5000 Pferdekräfte mehr erzeugen könnten, wenn sie je räumlich nur wenige hundert Meter flußabwärts gebaut worden wären. Ohne Aufgabe der bestehenden Zentralen können jene 5000 Pferdekräfte nicht mehr eingebracht werden,

1) Näheres u. a. Klöti, Die Neuordnung des Wasser- und Elektrizitätsrechtes in der Schweiz. Zürich 1905.

Wortlaut des Vertrages der Direktion der Gotthardbahn mit dem Kanton Tessin betreffend die Konzession zur Ausnutzung der Wasserkräfte in der oberenLeventina, siehe Schweiz. Bauzeitg. v. 13. 10. 1906.

sie sind verbaut.« In dem Bericht über die geplante Ausnutzung der Maira in Bergell durch ein Kraftwerk von 43000 PS. wird darauf hingewiesen, daß es ein wahres Glück gewesen sei, daß die früheren Pläne, welche eine Gewinnung von nur 6000 PS. an dieser Flußstrecke vorgesehen hatten, nicht zur Ausführung gelangt sind. Ein zweckmäßiges Vorgehen wird hier also eine 6- bis 7mal größere Kraftleistung unter denselben natürlichen Verhältnissen erschließen[1]). Man versteht es, wenn solche Vorkommnisse zu der Einsicht führten, daß die Nutzung der Wasserkräfte durch den Staat sich als diejenige Lösung darbiete, die allein den Wert dieser Naturkräfte ungeschmälert der Volksgemeinschaft erhalten könne. Das gab Anlaß zu mancherlei Forschungen und Erörterungen, vor allem ist dieser Bewegung zu danken, daß sie zur besseren Kenntnis der in der Schweiz vorhandenen Wasserkräfte geführt hat.

Die Regelung der Hauptfrage — die Verstaatlichung — ist bisher allerdings an den mancherlei widerstrebenden Interessen gescheitert, wenn schon die von den Kantonen und Gemeinden errichteten Wasserkraft- und Elektrizitätsanlagen sich in den letzten Jahren vermehrt haben. In allerneuster Zeit — seit dem Jahre 1902 — ist der Verstaatlichungsgedanke wieder lebhafter in Fluß gekommen, nachdem die gesteigerte Wirtschaftslage, besonders auch die Einführung des elektrischen Betriebes auf Vollbahnen immer mehr auf die Nutzbarmachung der Wasserkräfte hingedrängt hatte.

Zwei nationale Momente sind es, die neben der grundsätzlichen Auffassung, daß die Wasserkräfte Gemeingut sind, heute zu gunsten der Verstaatlichung in die Wagschale geworfen werden. Man erinnert daran, daß gegenwärtig etwa für 60 Mill. Mk. Brenn- und Leuchtstoffe, in erster Linie Kohlen, in das Land mehr ein- als ausgeführt werden und berechnet, daß diese Summe etwa der rohen Kraftleistung von 1 Mill. Pferdestärken entspricht, die aus den heimischen Wasservorräten gewonnen werden können. Ferner weist man darauf hin, daß an dem Ausbau der neueren großen Wasserkraftanlagen ausländisches Geld in hohem Maße beteiligt ist, so daß die Erträge aus der Wassernutznng in Form von Zinsen sowie die Lieferungen für den Ausbau der Kraftwerke nach dem Auslande wandern. Weiterhin drohe dem Lande durch die Privatunternehmungen eine

1) Österr. Wochenschr. f. d. öff. Baud. 1906, S. 593.

Gefahr insofern, als eine reichliche Ausfuhr elektrischer Kraft nach dem Auslande stattfinde. Es ist bemerkenswert, wie dieser letztere Gedanke bei neueren Anlagen schon Berücksichtigung findet. Da sich die große Kraft des Elektrizitätswerkes an der Maira im Engadin — 43000 PS. — in den benachbarten Gebirgsbezirken nicht ohne weiteres absetzen läßt, so soll — obwohl die Möglichkeit vorliegt, die erzeugte Energie nach Italien zu leiten — dieses Kraftwerk stufenweise aufgebaut werden, um für die Entwicklung des Heimatlandes Zeit zu gewinnen und so die Kraft der Schweiz selbst nutzbar zu machen.

Man ist sich heute in der Schweiz in der Hauptsache darüber einig, daß von Bundeswegen etwas geschehen müsse. Nur über die Art des Vorgehens sind die Meinungen noch geteilt. Es werden zwei Lösungen der Frage erörtert:

1. Übertragung der Hoheit über sämtliche Gewässer an den Bund unter Neuregelung des Genehmigungsverfahrens — vor allem Festsetzung einer kurzen Dauer (30 bis 50 Jahre) für die Genehmigung.
2. Monopolisierung der Wasserkräfte durch den Bund.

Es scheint, daß z. Z. der Gedanke, dem Bunde die Hoheit über die Gewässer zu übertragen, leichter Annahme finden könnte als das Monopol[1]).

In den Wasserrechtskonzessionen sollen Bestimmungen aufgenommen werden, die es dem Staat ermöglichen, die Wasserkraftwerke nach Verlauf einer gewissen Zeit an sich zu ziehen. Alle Unternehmungen, welche sich mit der Erzeugung, Fernleitung und Abgabe elektrischer Energie befassen, sollen zudem unter Staatsaufsicht gestellt werden. Am meisten den neueren Bestrebungen, die ihren stärksten Ausdruck finden in der Petition der Gesellschaft Freiland vom Jahre 1895, ist das Wasserrecht des Kantons Zürich angepaßt[2]).

Alles dies sind Erörterungen und Vorschläge mehr oder weniger privater Natur. Es mag aber auch interessieren, die neuesten behördlichen Schritte in der Wasserkraftfrage der Schweiz hier verzeichnet zu sehen. Unter dem Titel »Die Verwertung inländischer Wasserkräfte im Ausland« hat der schweizerische Bundesrat unter dem 4. Dezember 1905

---

1) O. Schär, Die Verstaatlichung der schweiz. Wasserkräfte, und Klöti, a. a. O. Kurzen geschichtlichen Überblick über die Bewegung s. Schweiz. Bauztg. März 1906.

2) Österr. Wochenschr. f. d. öff. Baud. 1906, S. 597.

an die Bundesversammlung eine Botschaft gerichtet, aus deren sehr bemerkenswerten Ausführungen ein Auszug hier Platz finden möge. Die Botschaft führt aus: »Die Schweiz besitzt als Bergland eine Summe von leicht verwertbaren Wasserkräften, welche einen erheblichen Teil des Nationalvermögens ausmachen und deren Wert bedeutend gestiegen ist, seitdem die Elektrizität ihren Siegeszug durch die Welt angetreten und die Technik der Umwandlung der Wasserkraft in elektrische Energie einen ungeheuren Aufschwung genommen hat. Durch diesen Fortschritt erreichen wir in der Schweiz, daß in einem sehr bedeutenden Maße die Steinkohle, welche wir aus dem Auslande beziehen müssen, als Krafterzeugerin durch die einheimische Wasserkraft ersetzt werden kann. So sehr wir für den Absatz der Erzeugnisse unserer Industrie auf das Ausland angewiesen sind, so sehr ist es umgekehrt zu begrüßen, daß in Ansehung der Beschaffung des wichtigsten allgemeinen Produktionsmittels die Abhängigkeit der Schweiz vom Ausland abnimmt. Bereits ist denn auch die Überzeugung, daß wir in unseren Wasserkräften ein unschätzbares Gut besitzen und zu demselben mehr als bisher Sorge tragen müssen, in das Volksbewußtsein eingedrungen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, daß sich auch die Landesbehörden mehr als bisher mit der Angelegenheit der schweizerischen Wasserkräfte beschäftigen. Wir haben in erster Linie zu sorgen, daß, wenn die Schweiz zum elektrischen Betrieb ihrer Bahnen, die sich bereits zum größten Teil in den Händen des Staates befinden, übergehen wird, die nötige Wasserkraft zu diesem Behufe zur Verfügung steht. Wir haben in zweiter Linie zu bewirken, daß das Gefälle unserer Flüsse der einheimischen Produktion und dem einheimischen Verbrauch gesichert wird. Wir haben endlich auf Mittel und Wege zu sinnen, damit eine zweckmäßige Verwendung der einheimischen Wasserkräfte im Interesse des Volksganzen stattfinde, damit ferner einer Verschleuderung dieses Gemeingutes vorgebeugt werde und damit sich drittens, der Staat für den Rückerwerb desselben, soweit es vergeben ist oder noch vergeben wird, nicht ausschließlich auf die sehr teure Zwangsenteignung angewiesen sehe.«

Nach weiteren Ausführungen über die Bedeutung der Wasserkräfte als öffentliches und Nationalgut und über die Notwendigkeit, dieses Gut der Produktion der Schweiz zu sichern, werden als Bundesbeschluß eine Reihe von Bestimmungen vorgeschlagen, deren wesentlichste die folgende ist:

Die Ableitung von elektrischer Energie, welche ganz oder zum Teil aus inländischer Wasserkraft gewonnen wird, ins Ausland bedarf der bundesrätlichen Bewilligung; Staatsverträge sind vorbehalten. Über dieses Bewilligungsrecht sollen dann für die spätere Handhabung noch nähere Festsetzungen getroffen werden.

Aus den übrigen Darlegungen der Botschaft geht noch hervor, daß der schweizerische Bundesrat dem elektrischen Betriebe der Bahnen aus Wasserkräften und der Frage der Verstaatlichung oder der Staatshoheit über die Wasserkräfte z. Z. seine ganze Aufmerksamkeit widmet.

Der schweizerische Nationalrat und Ständerat haben diesen Gesetzentwurf im Frühjahr 1906 mit großer Mehrheit — allerdings nur mit einer vorläufigen Gültigkeit für 3 Jahre — angenommen und gleichzeitig an den Bundesrat die Forderung gestellt, zum Zwecke der allseitigen Wahrung der volkswirtschaftlichen und nationalen Interessen bei der Gewinnung und Verwertung der Wasserkräfte Vorschläge zu den nötigen Verfassungsgrundlagen zu unterbreiten. Dadurch ist die gesetzliche Regelung auch der übrigen oben berührten Fragen in die Wege geleitet[1]). Im weiteren Verlauf dieser Angelegenheit hat der Bundesrat im März 1907 den Entwurf zu einem neuen Artikel 23 der Bundesverfassung vorgelegt, durch den dem Bunde die Zuständigkeit zur Gesetzgebung über die Ausnutzung der Wasserkräfte erteilt wird. Darnach sollen durch die Bundesregierung zur Wahrung der öffentlichen Interessen und zur zweckmäßigen Nutzbarmachung der Wasserkräfte die erforderlichen Vorschriften aufgestellt werden über die Erteilung und den Inhalt der Wasserrechtsgenehmigungen, sowie über die Fortleitung und Abgabe der elektrischen Energie. Als dauernde Bestimmung ist aufgenommen, daß die Abgabe der durch Wasserkraft erzeugten Energie ins Ausland nur mit Bewilligung des Bundesrats erfolgen soll[2]).

Es darf nicht unbeachtet bleiben, daß das schweizerische Vorgehen, die Ausfuhr der Kraft in Form elektrischer Energie gegebenenfalls zu verbieten, den Wasserkräften die Stellung einer Handelsware auf dem Weltmarkt verleiht, die dadurch allen wirtschaftlichen, zollpolitischen und zwischenstaatlichen Bedingungen unterworfen wird, wie andere Gegenstände des Handels.

1) Schweiz. Bauztg. März 1906.
2) Schweiz. Bauztg. 19. 1. und 4. 5. 1907.

B. Österreich-Ungarn.

Die Wasserkraftverhältnisse in Österreich-Ungarn werden nach der Bodengestaltung und dem Reichtum an Gewässern als günstig bezeichnet. Es kommen Gefälle und Abflußmengen in allen Abstufungen vor. Darum hat auch in diesem Lande die Nutzbarmachung der Wasserkräfte in neuerer Zeit lebhaft eingesetzt, und man ist zu einer intensiveren Ausnutzung durch vervollkommnete Maschinen übergegangen. Wie auch anderwärts, bemerkt W. Müller[1]), wurden in Österreich die Vorzüge der Turbinen gegenüber den Wasserrädern für gewerbliche Anlagen nur nach und nach erkannt und führten in der ersten Zeit zu großen Kämpfen mit dem Wasserrad. Heute besitzt das Land einige anerkannte Turbinenfabriken.

Neuere wasserwirtschaftliche Unternehmungen und Voruntersuchungen.

Veranlaßt durch die Bekämpfung der Hochwassergefahren ist man in einigen Bezirken des Landes der Verwertung der Wasserkräfte nähergetreten. Man hat in Böhmen im Quellgebiet der Görlitzer Neiße sechs Sammelbecken von zus. 6,33 Mill. cbm Stauinhalt geschaffen, die neben dem Hochwasserschutz der Aufspeicherung von Nutzwasser für die unterhalb gelegenen Triebwerke dienen (siehe Tabelle 70). Nach den Intzeschen Berechnungen[2]) werden z. B. an der schwarzen Neiße 260 PS. für das ganze Jahr gewonnen werden. Die Ausnutzung des Grünewalder Beckens wird 800 PS. liefern, jedoch soll sich die Nutzleistung dieser Becken an einzelnen Tagen bis auf 3500 bis 4000 PS. steigern können. Wenn man sich vergegenwärtigt, daß in jenen Bezirken die Jahresniederschläge bis 1800 mm Höhe erreichen, so erkennt man den in diesen Gebirgstälern vorhandenen Wasserreichtum, der in dem Becken des Reichenberger Gebietes nur deswegen nicht zur Erschließung erheblicherer Nutzpferdekräfte geführt hat, weil der Stauinhalt im wesentlichen auf den Hochwasserschutz hat eingeschränkt werden müssen. Für die Ausführung und den Betrieb wurde eine Genossenschaft gebildet. Die Geldaufbringung geschah unter staatlicher Beihilfe. Auch von reichs-

1) Die Francis-Turbinen.
2) Über die Anlage von Talsperren im Quellgebiet der Görlitzer Neiße.

deutscher Seite (Preußen, Kgr. Sachsen, Provinz Schlesien, Stadt Görlitz u. a.) sind Beiträge in der Gesamtsumme von 420000 Mk. zur Errichtung der Talsperren beigesteuert worden. Für die Nutzpferdekraft werden 120 bzw. 50 Mk. von den Interessenten erhoben.

Mit ähnlichen Plänen zur Milderung der Hochwassergefahren trägt man sich für das Traungebiet, wo das Aufspeicherungsvermögen der Salzkammergutseen verwertet und durch den dadurch herbeigeführten Ausgleich der Abflußmengen der Kraftausbeute nutzbar gemacht werden soll. Veranlassung dazu gaben die großen Hochfluten in den letzten

Tabelle 70. Talsperrrenbauten im Gebiet der Görlitzer Neiße bei Reichenberg in Böhmen.

Nr.	Talsperre-bezeichnung	Jahr der Bau-ausführung	Nieder-schlags-gebiet qkm	Stau-inhalt Mill. cbm	Größte Stau-höhe ü. Tal-sohle m	Größte Höhe der Mauer m	Kronen-länge m	Mauer-masse cbm	Kosten einschl. Grund-erwerb und Ankauf von Gebäuden Kronen	Kosten für 1 cbm Stau-inhalt Heller	
1	Grünwalder Wasser . .	1905/06	26,6	2,7	15,0	20,0	440	42 600	2 559 000	91	im Mittel für die sechs Talsperren 105
2	Harzdorfer Bach . . .	1902/03	15,5	0,63	12,0	19,0	155	16 200	650 000	103	
3	Schwarze Neiße . . .	1902/04	4,1	2,0	14,65	23,15	296	41 000	1 300 000	65	
4	Görsbach. .	1904/05	11,8	0,5	15,5	21,5	250	32 000	1 030 000	126	
5	Voigtsbach.	1904/05	6,9	0,25	10,0	16,0	154	11 500	460 000	184	
6	Mühlscheibe	1904/05	6,7	0,26	14,9	21,5	207	17 200	659 000	264	
	Zusammen		71,6	6,33	—	—	—	160 500	6 658 000		

Jahren des abgelaufenen Jahrhunderts, infolge deren durch das staatliche hydrographische Zentralbureau eine wasserwirtschaftliche Untersuchung stattfand[1]). Das Niederschlagsgebiet des Trauns ist 4276 qkm groß, davon sind 122 qkm Seenfläche. Die Niederschlagshöhe steigt bis zu 2000 mm im Jahr an, während das Quellgebiet bis 900 m ü. M. hinaufgeht. Durch eine Regelung der Seenabflüsse mittels Sperrwerke zum Teil mit ansehnlicher Stauhöhe bis 29 m und Einrichtung eines Wasserstandsnachrichtendienstes sollen die Wassermengen regenreicher Zeit aufgespeichert werden. So würde man z. B. in den Seen oberhalb Gmunden bei dem Hochwasser des Jahres 1899 etwa 116 Mill. cbm haben

1) Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1905.

zurückhalten können, die später von der Industrie hätten verarbeitet werden können. Die Verwirklichung dieser Pläne erscheint z. Z. jedoch noch unsicher.

Wie in diesem Vorgehen bekundet sich auch in anderen Maßnahmen das Interesse der Regierung für eine regere Wasserwirtschaft. Bereits im Jahre 1875 war in Böhmen ein hydrographisches Bureau eingerichtet, das Untersuchungen darüber anstellen sollte, welche Maßnahmen der Landwirtschaft nützen und den Hochwassergefahren vorbeugen könnten.

In Ungarn werden seit dem Jahre 1897 Untersuchungen über die in den Flüssen vorhandenen motorischen Kräfte angestellt.

In Österreich wurde im Jahre 1894 der hydrographische Dienst in umfassendem Maße neugeordnet, wobei die Verwertung der Wasserkräfte für landwirtschaftliche und gewerbliche Zwecke in den Vordergrund gerückt wurde. Das hydrographische Zentralbureau beschäftigt sich nicht nur mit theoretischen Ermittlungen des Wasserhaushaltes, sondern tritt auch an die Beurteilung praktischer wasserwirtschaftlicher Fragen heran und hat u. a. den elektrischen Betrieb der Alpenbahnen aus den Wasserkräften geprüft[1]).

Man hat ein genaues Wasserkraftkataster[2]) eingerichtet, um eine sichere Kenntnis zu erhalten, wie große Wasserkräfte in den Alpenländern und in der österreichischen Monarchie überhaupt gewonnen werden können. Man schätzt die Wasserkräfte in den österreichischen Alpen auf 1,7 Mill. PS., davon sollen die größten im Gebiet der Etsch liegen. Zahlreiche Wasserkräfte besitzen auch Dalmatien, Bosnien und die Sudeten.

Die Wasserkräfte Galiziens werden zurzeit infolge Beschluß seines Landtages vom Jahre 1903 einer Untersuchung unterzogen. Das ganze galizische Wassergebiet zerfällt in drei Gruppen. Die erste Gruppe umfaßt das Abflußgebiet des Tatra-Hochgebirges, das im Sommer von dem Gebirgsschnee gespeist wird. Die zweite Gruppe erstreckt sich über den übrigen nördlichen Karpathenabhang in das Weichsel-, Dniestr- und Pruthgebiet. Zur dritten Gruppe werden die linksseitigen Nebenflüsse des Dniestr im Hügellande Podolien gezählt.

1) Österr. Wochenschr. f. d. öff. Baud. 1906, S. 591.

2) Der Erlaß des Ministeriums des Innern betr. Anlage des Wasserkraftkatasters vom 3. 12. 1906 ist abgedruckt in der Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1907, S. 83. Siehe auch S. 14.

Zunächst erschienen die Ergebnisse der Ermittlungen im Dunajec- und Popradgebiete, die der ersten Gruppe angehören. Die Gesamtzahl der hier erschließbaren Wasserkräfte ist bei normalem Wasser zu 77000 PS. (an der Turbinenwelle) gefunden worden. Es sind darunter ansehnliche konzentrierte Kräfte bis 13000 PS. vorhanden. Demgegenüber muß man sich vergegenwärtigen, daß heute die Gesamtnutzung in diesen Gebieten etwa 1000 PS. beträgt. Man hofft, die gewinnbaren Kräfte für Kraft-, Licht- und Bahnbetrieb verwenden zu können, wobei Fernübertragungen auf 100 bis 125 km ins Auge gefaßt sind[1]).

Die zweite von dem Landesausschusse Galiziens veröffentlichte Beschreibung über die Wasserkräfte Galiziens behandelt den Stryj- und Opórfluß. Hier sind bei einer normalen (neunmonatlichen) Wasserkraft rd. 41900 PS. vorhanden. Das Minimum geht auf 16800 PS., also auf 40,1 v. H. der normalen Kraft, herunter. Das Verhältnis ist noch ungünstiger als im Dunajecgebiet, wo es 50,2 v. H. beträgt. Aber im ersteren Gebiet ist es in vorteilhafter Weise möglich, den Wasserabfluß durch Sammelbecken zu regulieren. Im Stryjgebiete können 61 Mill. cbm Stauraum, im Opórgebiete 27,4 Mill. cbm Stauraum mit einem Kostenaufwande von 15 bzw. 40 Pfg. für 1 cbm Beckeninhalt geschaffen werden. Es wird dadurch möglich, die normale Wasserkraft zu verdoppeln — auf 82000 PS. — und die kleinsten Wasserkräfte auf 73100, also auf das Vierfache zu bringen. Dieser außerordentliche Erfolg des Wasserausgleichs springt umsomehr in die Augen, wenn man erfährt, daß heute an beiden Flüssen nur etwa 300 PS. nutzbar gemacht sind. Gute Absatzmöglichkeit ist in Lemberg und in anderen Orten auf 80 bis 100 km Entfernung vorhanden[2]).

Im Jahre 1899 hat der österreichische Ackerbauminister einen Erlaß herausgehen lassen, wonach Wasserrechte, besonders solche für Elektrizitätswerke grundsätzlich nur auf Zeit verliehen werden sollen, etwa auf 50 bis 60 Jahre, so sind z. B. die Etschwerke der Städte Meran und Bozen auf 60 Jahre vergeben worden, die Genehmigung wurde aber später auf 80 Jahre bis zum Jahre 1978 verlängert. Die Brennerwerke bei Matrei und die Sillwerke der Stadt Innsbruck sind auf 90 Jahre konzessioniert. Ungarn hat die neueren Wasserrechtsbeleihungen im allgemeinen auf eine Zeitdauer von 50 Jahren beschränkt. Man wird als

1) Österr. Wochensch. f. d. öff. Baud. 1906, S. 154.
2) Österr. Wochenschr. f. d. öff. Baud. 1907, S. 165.

Tabelle 71. Neuere Wasserkraftanlagen in Österreich-Ungarn.

Ort	Jahr der Betriebseröffnung	Gefälle m	Leistung PS.	Kraftübertragung: Entfernung km	Kraftübertragung: Spannung Volt	Verwendung	Einheit der Turbinenzahl × PS.	Bemerkungen
Sillwerke der Stadt Innsbruck: ältere Anlage	1899	123 u. 357	3 100	—	—	Elektrizitätswerk der Stadt Innsbruck für Kraft- u. Lichtzwecke u. Bahnbetrieb.	6 × 2500	Die neuere Anlage hat einen 7 km langen Stollen. Zwei Druckrohre aus Flußstahlblech von 1,25 m Durchmess. Zunächst sind eine Rohrleitung und zwei Maschinen fertiggestellt. S. Abb. 80 u. 125.
Sillwerke der Stadt Innsbruck: neuere »	1903	182	15 000	8	10 000			
Elektrizitätswerk Bruck a. d. Mur[1])	1904	8,5	2 000	—	5 000	Licht u. Kraft für Einzelverteilung in der Stadt Bruck u. in der näheren Umgebung.	4 × 675	Die Baukosten für 1 PS. an der Turbine sind 470 Mk., am Schaltbrett 525 Mk. Mit Dampfaushilfe.
Rienzwerke[1])	1903	26,5	2 700	—	5 000	Überlandzentrale f. die Versorgung der Stadt Brixen u. v. 8 Gemeinden u. 4 Bahnhöfen.	4 × 900	Das Verteilungsnetz führt in Freileitungen üb. beträchtliche Höhen u. Tiefen und ist mit Blitzschutzeinrichtungen reichlich versehen.
Malser Heide[1]) . . .	1903	32,0	690	—	5 000	Kraft und Licht für 14 Gemeinden der Malser Heide.	3 × 230	Genossenschaftliche Unternehmung der Gemeinden. Für landwirtschaftliche Betriebe wird die Kraft zu 17 Mk. für die Jahrespferdekraft abgegeben.
Elektrizitätswerk »Feistritzhammer« i. Mürztale[1])	1904	3,75 bis 5,0	350	4	5 000	Betrieb eines Walzwerkes.	1 × 350 1 × 113	Dreiradturbine auf wagerechter Welle zerlegt in eine Doppel- u. eine einfache Turbine zur Ausnutzung zweier verschiedener Gefälle.
Jajce a. d. Pliva (Bosnien)	1897	74,5	9 264	—	155	Für elektrotechnische Zwecke.	8 × 1000 2 × 632	

Walzwerk Jauerburg (Krain)	—	320	1 600	—	—	Dient zum unmittelbaren Antrieb von Walzenzügen.	1 × 1600 Daneben noch einige kleinere Turbinen.	Peltonrad. Rohrleitung: der obere Teil aus gußeisernen Muffenrohren, der untere Teil aus genieteten Flußeisenrohren.
Kaiserwerke (Nordtirol)	1905	320	3 600	—	10 500	Überlandzentrale f. Industrie, Betrieb von Kleinmotoren und für Lichtzwecke bei Kufstein.	2 × 1200 2 × 60	Kraftwasserentnahme aus dem Hintersteiner See. Aufstellung der 3 Maschinen vorbehalten. Peltonräder. Erweiterung der Anlage durch Ausnutzung eines Gefälles von rd. 130 m im Unterwasser des vorhandenen Werkes mit 15000 PS. Leistungsfähigkeit. Der Wasserabfluß wird bei dieser Neuanlage durch einen Stauraum von 100000 cbm in gewissem Grade ausgeglichen.
Lend—Gastein[2]) . . .	1898	96	7 500	—	—	Für elektrochemische Zwecke.	4 × 1150 5 × 750	
Meran—Bozen[2]) . . .	1898	70	7 200	5 u. 30	—	2000 PS. für Licht und Kraft der Städte Meran und Bozen.	6 × 1200	Gemeinsames Unternehmen der Städte Meran u. Bozen. S. Abb. 64.
Erweiterung . . .		130	15 000	—	10 000			
Matrei (Brennerwerke)[2])	1900	82	6 000	—	—	Für elektrochemische Zwecke.	8 × 800	Zurzeit 6 Turbinen aufgestellt.
Rauriser Ache (Salzach)	—	130	6 000	—	—	Für elektrochemische Zwecke.	3 × 2000	
Kardaun bei Bozen . .	1901	210	2 000	4 i. M.	3 600	Kraft- u. Lichtversorgg. einiger Ortschaften bei Bozen.	4 × 500	Peltonräder. Z. f. d. ges. Turbinenwesen 1907. S. 149.
Pölswerke	1904	28	1 100	20—25	10 000	Überlandzentr. f. Versorgung der Stadt Knittelfeld und Umg.	2 × 550	Z. d. öster. Ing.- u. Arch.-V. 1907. S. 305.

Bem.: Es seien noch erwähnt die Werke der Stadt Klagenfurt (2000 PS.), das Elektrizitätswerk Manojlovac (20 000 PS.) usw. Über die Wasserkraftanlage zum Antrieb der maschinellen Anlagen beim Bau des Tauerntunnels (1500 PS.) s. J. d. V. deutsch. Ing. 1907. S. 809.

1) Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1905 u. 1906. 2) Zeitschr. f. Bauw. 1900.

Mindestmaß der Genehmigungsdauer etwa 60 Jahre ansehen dürfen, wenn man den Unternehmungsgeist nicht unterbinden will. Wasserkraftwerke brauchen eine geraume Zeit zur Entwicklung, bis sie hinreichenden Absatz finden und liefern anfänglich oft keine Erträge. Der Staat will sich damit die Möglichkeit sichern, die Wasserkraftausnutzung späterhin in eigne Verwaltung nehmen zu können. Es sei bemerkt, daß in Österreich, wohl beeinflußt durch das kräftige Vorgehen der benachbarten Schweiz, schon jetzt viele Stimmen dafür sprechen, daß der Staat die Wasserkräfte selbst ausbauen soll. Andererseits jedoch fürchtet man, daß dadurch die vorhandene Tatkraft lahmgelegt wird, indem der Staat langsam und mit großer Vorsicht zu Werke gehen würde.

Der leitende Gedanke bei den Verstaatlichungsbestrebungen ist die Absicht, die elektrische Zugförderung auf den Staatsbahnen einzuführen. Die österreichische Eisenbahnverwaltung studiert schon seit langem diese Frage. Insbesondere in Aussicht genommen sind einige Strecken bei Innsbruck, Salzburg, Triest und Linz, und es sind unter anderem Entwürfe für die Ausnutzung der Wasserkräfte des Salzach- und Innflusses ausgearbeitet worden. An letzterem Flusse ist bei Landeck ein Kraftwerk von 10000 PS. und 70 m Nutzgefälle geplant und der Verwirklichung nahegebracht worden. Dieses Werk ist für den elektrischen Betrieb der Arlbergbahn bestimmt.

Die staatlichen Untersuchungen zur Ausnutzung der Wasserkräfte beim Bau der neuen österreichischen Wasserstraßen sind in den Abschnitten III E und IV C erörtert worden.

Auch auf rechtlichem Gebiet ist in Österreich die Ausnutzung der Wasserkräfte insofern gefördert worden, als man in der Frage der Benutzung fremden Eigentums für elektrische Kraftleitungen vor einigen Jahren den Weg gesetzlicher Regelung beschritten hat.

Österreichische Wasserkraftanlagen.

In der Fachpresse finden sich nur wenig Veröffentlichungen über neuere österreichische Wasserkraftanlagen. In der vorstehenden Tab. 71 sind einige der größeren bekannt gewordenen Werke zusammengestellt. Bemerkt möge noch werden, daß viele Entwürfe vorliegen.

Neuerdings sind die Überlandzentralen infolge der stärkeren Ausnutzung der Wasserkräfte in lebhafter Entwicklung begriffen. Unter den

Elektrizitätswerken mittlerer Städte überwiegen schon heute die Wasserkraftanlagen, während, wie berichtet wird, in Ungarn noch der Dampf

Tab. 72. In Österreich-Ungarn im Jahre 1905 ausgeführte Wasserkraftanlagen[1]).

a) Betriebsstrom: Gleichstrom.

Ort	Generatoren-Zahl	Generatoren-Leistung K.W.	Spannung Volt	Bemerkungen
Bensen	2	130	250	Es sind nur die Werke mit einer Leistung von mehr als 100 K.W. aufgenommen.
Plan	2	140	2 × 220	
Travnik	2	200	2 × 220	

b) Betriebsstrom: Drehstrom.

Ort	Generatoren-Zahl	Generatoren-Leistung K.W.	Spannung Primär Volt	Spannung Sekundär Volt	Bemerkungen
Beszterzebánge	2	1300	3 000	150	
Feldkirch	4	1920	6 200	—	Überlandzentrale.
	3	1440			
Fürstenfeld	2	260	5 200	190/110	Versorgung von Fürstenfeld und Fabrikzwecke.
Gleisdorf (Feistrizwerke)	2	648	10 200	150	Überlandzentrale.
Judenburg	2	400	5 200	190/110	Wasserkraft d. Mur. Überlandzentrale.
Kematen	2	150	3 000	—	Ü.-Z.
Kindberg	2	200	5 000	190/220	»
Kolosvár (Klausenburg)	3	2700	15000/3000	150	»
Krummau-Hohenfurth	3	7500	15 000	300/100	»
Kufstein (Kaiserwerke)	2	2160	10 500	—	»
Landeck (Trisannawerke)	4	8000	12 000	—	Ü.-Z. f. Karbidwerke.
Leoben	3	1155	5 500	150	Wasserkr. der Mur.
Spital a. Pyhrn	1	350	400	—	
St. Veit a. d. G.	2	200	3 000	—	Fernleitung.
Szaszebes (Mühlbach)	2	720	5 000	125	Mit Dampfaushilfe.

c) Wechselstromanlagen.

Kecskemét	2	670	2 × 2000	—	Wasser- und Dampfkraft.
Hermannstadt	2	1100	4 000	105	

als Betriebskraft vorherrscht. Es fällt ins Gewicht, daß die Wasserkräfte sich meist in den Alpenländern finden, wo die Industrie bisher noch

1) Zusammengestellt nach E. T. Z. 1907 S. 241.

wenig ausgebreitet ist. So steht in Aussicht, daß gerade diese Bezirke in der nächsten Zukunft einen starken Aufschwung nehmen werden. Die Tabelle 72 macht den regen Fortschritt in der Ausnutzung der Wasserkraft in Österreich-Ungarn in der allerletzten Zeit ersichtlich.

C. Italien.

Die Geschichte berichtet, daß die Wasserwirtschaft in Oberitalien schon frühzeitig im Mittelalter eine große Bedeutung erlangt hatte. Kanäle, die der Schiffahrt oder Bewässerung dienten, bildeten ein ausgebreitetes Netz und schufen Quellen des Reichtums für die Landwirtschaft und den Handel. Die Stadt Mailand nahm auf dieser wirtschaftlichen Grundlage eine bevorzugte Stellung in der Handelswelt ein, und in dieser Zeit gehörte Oberitalien zu den reichsten Ländern Europas.

Das Bemerkenswerteste dieser italienischen Wasserwirtschaft war nach Semenza[1]) ihr nationales Gepräge. Es hatte sich hier eine Art hydro-technische Schule herausgebildet, die in Leonardo da Vinci ihren Meister erblickte und eine Reihe anerkannter Männer zu den Ihrigen zählte.

Eine solche Charakteristik tritt mit Ausnahme etwa der Ausbildung der Fernleitungen (s. S. 336) auf dem neuzeitlichen Gebiet der Wasserkraftnutzung in Italien nicht hervor. Hier ist der Einfluß des Auslandes — vor allem der Deutschlands, der Schweiz und Amerikas — bemerkbar geworden, bis allerdings in neuester Zeit sich eine Wandlung gezeigt hat. Im Turbinenbau haben sich einige Firmen der italienischen Industrie eine anerkannte Stellung geschaffen, so daß heute nur noch selten eine Turbine außer Landes gekauft wird.

Entwicklung der Wasserkraftnutzung.

Die ersten elektrischen Kraftübertragungen Italiens gehen bis auf die Jahre 1887/88 zurück, während die erste Lichtverteilungsanlage schon im Jahre 1883 von der Societa Edison in Mailand eingerichtet wurde. Sie soll die erste derartige Unternehmung in Europa gewesen sein. Das erste

1) Les installations hydro-électriques de la Haute-Italie. Mém. Soc. Ing. Civ. de France. 1905. Einige Mitteilungen von Budau über die hydroelektrischen Kraftzentralen Oberitaliens s. Zeitschr. »Elektrotechnik und Maschinenbau« 1906, ferner Impianto Idroelectrico del Tusciano. Estratto dal l'Elettricista vol. V Nr. 21, 1906.

hydro-elektrische Werk erhielt im Jahre 1889 Genua, wo eine Wasserkraft in drei Stufen ausgenutzt wurde[1]). Im Jahre 1893 entstand bei Rom eine Übertragungsanlage auf 25 km Entfernung mit 5000 Volt Spannung. Aber erst drei Jahre später, 1896, setzte diese Bewegung zur Nutzbarmachung der Wasserkräfte lebhafter ein und nahm ihren Ausgang von der Kraftanlage zu Paderno, von wo 13000 PS. auf 36 km mit 14000 Volt Spannung nach Mailand geleitet wurden. Dieses Unternehmen lenkte damals die Aufmerksamkeit der ganzen elektrotechnischen Welt auf sich, und der Erfolg dieser Anlage leitete den Bau einer Reihe großer Kraftwerke ein, von denen genannt seien: Vizzola, Turin, Cellina und Zogno.

Die gewerbliche Entwicklung Italiens wird heute als eine aufstrebende bezeichnet und man schreibt sie zum wesentlichen der Nutzbarmachung der Wasserkräfte zu. Das Land ist kohlenarm. Während Italien z. B. i. J. 1904 rd. 6 Mill. t Kohlen aufbrauchte, gewinnt man dort wenig mehr als 300000 t an Brennstoff, und etwa 120 Mill. Mk. gehen für Kohlen jährlich ins Ausland, zum größten Teile nach England. Aber die Wasserkraftverwertung erweist sich nicht nur für die Gewerbe vorteilhaft. Auch die Landwirtschaft Italiens, die einen großen Raum in der Gesamtwirtschaft des Landes einnimmt, zieht davon Nutzen, wenn schon heute die Verwendung mechanischer Kraft in ihren Betrieben noch nicht genügend verbreitet ist. Man hofft auch, den elektrischen Strom zur Erzeugung von Stickstoff aus dem Gehalt der atmosphärischen Luft für Düngungszwecke verwerten zu können.

Die heutige hydro-elektrische Kraftausbeute Oberitaliens wird zu 150000 PS. auf einem Gebiet von 800000 qkm angegeben, während die gesamten Wasserkräfte des Landes von Prof. Netti in Neapel auf 5 Mill. PS. geschätzt werden. Nach den statistischen Erhebungen einer eigens hierzu berufenen Kommission sollen die an den Gebirgsflüssen Italiens ausnutzbaren Wasserkräfte 2,64 Mill. PS. betragen und davon auf Norditalien 38,4 v. H., auf Mittelitalien 26 v. H. und auf Süditalien 30 v. H. entfallen. 5,5 v. H. sind in Sizilien und der Rest von 0,1 v. H. auf Sardinien erschließbar. In der Gesamtzahl kommen diese Ermittlungen auch auf etwa 5 Mill. PS.

Aus der Technik im einzelnen ist anzugeben, daß die Übertragungsspannung in kleinen Anlagen zwischen 2000 und 5000 V. liegt und in

1) Allgem. Bauztg. 1906 S. 36.

einigen Werken bis zu 40000 V. als Höchstmaß steigt (Brescia, Brusio, Gromo). Der Turbinenbau vermeidet nach Möglichkeit Turbinen mit senkrechter Achse.

Im Lande waren bis zum März 1906 etwa 205 Turbinen — meist Francis-Turbinen oder Peltonräder — von mehr als 300 PS. Einzelleistung für insgesamt 200000 PS. Leistung gebaut; davon leisteten 73 mehr als je 1600 PS.[1]).

Die Herstellungskosten sollen im großen Durchschnitt für die Einheit im Zentralwerk einschl. Maschinen 480—800 Mk. für 1 PS., der Verkaufspreis der Wasserpferdekraft 180 Mk. für 1 PS. am Verbrauchsort betragen.

Staatliche Förderung der Wasserkraftnutzung.

Der italienische Staat bringt der Ausnutzung der Wasserkräfte reges Interesse entgegen. Diese staatliche Förderung der Wasserkräfte zeigt sich in Italien schon frühzeitig. Auf Grund von Gesetzen aus den Jahren 1884 und 1898 lenkten die Verwaltungsbehörden die Aufmerksamkeit auf die Ausnutzung der Wasserkräfte für den elektrischen Bahnbetrieb hin. Vor der Konzessionserteilung mußte über Wasserkräfte, die sich für diesen Zweck eigneten, an den Minister der öffentlichen Arbeiten berichtet werden, der dann entschied, ob die Genehmigung erteilt oder die Kraft für den Eisenbahnbetrieb zurückgestellt werden sollte. Durch königl. Erlaß vom Juni 1899 ist dann eine zentrale Behörde eingesetzt worden, welche bei allen Verleihungen von Wasserrechten gehört wird und ihr Gutachten abzugeben hat, ob dabei ein staatliches oder allgemeines Interesse berührt wird. Auf das Gutachten hin wird gegebenenfalls eine Wasserkraft für allgemeine oder staatliche Zwecke vorbehalten und die Erlaubnis verweigert.[2])

Diesen die Interessen der Allgemeinheit wahrenden Weg hat man auch in Frankreich und Schweden beschritten.

Konzessionen werden in Italien meist nur auf eine beschränkte Zeitdauer verliehen für je 30 Jahre, dauernde Genehmigungen können nur auf gesetzlichem Wege erteilt werden[3]).

1) Z. d. V. d. Ing. 1906, S. 1199. Daselbst nähere Mitteilungen über die Entwicklung der Elektrotechnik in Italien.

2) Einige Mitteilungen über den hydrometrischen Dienst in Italien s. Schriften zum XI. Schiffahrtskongreß St. Petersburg 1908, I. Abt.

3) Österr. Wochenschr. f. d. öff. Baud. 1906, S. 594.

In der Erkenntnis, daß eine gute, den Bedürfnissen der Volkswirtschaft Rechnung tragende Verwaltung eine wesentliche Vorbedingung zu Erfolgen ist, beabsichtigt die italienische Regierung die Errichtung einer Wasserbaubehörde für Oberitalien, in der alle wasserbaulichen Arbeiten und die gesamte Wasserwirtschaft zentralisiert werden soll[1]).

Im Jahre 1897 lud die Regierung die beiden großen Eisenbahngesellschaften des Landes ein, die Frage des elektrischen Zuges auf Bahnen zu studieren und Pläne auszuarbeiten für einen Versuch im großen Maßstabe. Diese Untersuchungen führten zum hydro-elektrischen Betrieb der Valtellina-Bahn (106 km), deren Kraftwerk an der Adda liegt (9000—10000 PS.). Dieses, in der technischen Welt bekannte Werk hat sehr befriedigende Ergebnisse geliefert[2]). Der Staat selbst hat sich eine große Zahl von Wasserrechten — etwa auf 300000 PS. — gesichert, um diese gegebenenfalls für elektrische Zugkraft verwenden zu können. Eine weitere staatliche Förderung fand die Wasserkraftbewegung durch das Gesetz, das die Eigentümer verpflichtet, das Legen elektrischer Leitungen über ihre Grundstücke gegen Entschädigung zu gestatten.

Ein eigenartiges staatliches Vorgehen ist zu bemerken zu gunsten von Neapel. Dieser Stadtgemeinde sind durch ein Gesetz vom Juli 1904 rd. 16000 elektrische Pferdekräfte der Wasserkraft des Volturno für immer und ohne Gegenleistung zur Verfügung gestellt. Zur Nutzbarmachung dieser Wasserkraft und zur Übertragung nach Neapel gibt der Staat das erforderliche Kapital zu geringem Zinssatz ($3\,^1/_4$ v. H.) her. Für den Bau und Betrieb des Werkes ist eine selbständige Verwaltung mit besonderen Satzungen geschaffen, die aus staatlichen und städtischen Beamten und sonstigen Personen zusammengesetzt ist. Die Verhältnisse liegen so günstig, daß 1 PS. fürs Jahr bei zwölfstündigem Tagesbetrieb nicht mehr als 81 Mk. kostet. Am Tage soll die Kraftabgabe ausschließlich zu gunsten der im Gemeindebezirk von Neapel liegenden Industrien erfolgen, in den Nachtstunden kann die überschüssige Kraft für andere Zwecke verwendet werden.

Eine Eigenart der italienischen Wasserkraftausnutzung ist es, daß hier gelungen ist, die Interessen der Wasserkraftverwertung mit der allerdings

1) Österr. Wochenschr. f. d. öff. Baud. 1906, S. 559.

2) Über Erfahrungen und Betriebsergebnisse an der Valtellina-Bahn. Z. d. Ver. deutsch. Ing. 1905, S. 125. Über den elektr. Betrieb auf italienischen Eisenbahnen. Zentralbl. d. Bauverw. 1902, S. 225.

Tabelle 73. Große Wasserkraftanlagen in Oberitalien.

Ort	Jahr der Inbetriebsetzung	Gefälle m	Leistung PS.	Kraftübertragung: Entfernung km	Kraftübertragung: Spannung Volt	Zweck	Bemerkungen
1. Gruppe von Turin	—	—	10 500	bis 90	25 000	Stromversorgung von Turin und einer Reihe von Ortschaften in der Umgebung.	Sechs Einzelwerke von 1500 bis 3000 PS. Leistung. Aushilfsanlage in Turin wegen ungleicher Wasserführung der Bäche. Die sechs Werke arbeiten in ein gemeinsames Netz. Weiterer Ausbau eines Gefälles von 858 m in zwei Stufen im Gange; davon unteres Werk mit 444 m Gefälle und 4800 PS. Leistung fertig. Die Gesamtleistung der Gruppe nach Fertigstellung der Anlagen beträgt etwa 30 000 PS.
2. Gruppe von Mailand						Versorgung von Mailand, Monza und Brienza mit Licht u. Kraft für Arbeitsmaschinen u. Straßenbahnverkehr.	Mit Dampfaushilfsanlage in Mailand mit 13 000 PS.
Paderno*) . .	1898	30	13 000	30—40	14 000		*) Österr. Wochenschrift 1906 S. 373.
Zogno (Brembo)**)	1904	58	10 500	»	25 000		**) Näheres siehe Scient. American Supplement, Dez. 1905.
Vigevano***) .	Im Bau	18	10 000	»	25 000		***) Näheres siehe Scient. American Supplement, Okt. 1906.
Trezzo . . .	»	8	13 000	»	—		
3. Gruppe von Vizzola u. Turbigo						Überlandzentrale für das gewerbliche Gebiet westlich von Mailand am Canal Naviglio Grande.	Vizzola ist heute die größte Zentrale Italiens. Zur Gruppe gehört eine Dampfaushilfe von 6000 PS. in Castellanza. — Das Verteilungsnetz hat eine Gesamtlänge von 370 km; in seinem Gebiet sind 30 000 gewerbliche Arbeiter beschäftigt. — Erweiterung am Poschiavino (Adda) auf schweizerischem Gebiet mit Kraftwerk bei Brusio von 20 000 PS. geplant. Übertragung mit 40 000 Volt auf 130 km. Le Génie Civil Juli 1906. Österr. Wochenschr. f. d. öff. B. 1906 S. 373.
Vizzola . . .	1899	29	20 000	Verteilung auf 2000 qkm Fläche der Umgebung.	11 000		
Turbigo . . .	—	8,2	7 000		—		
Castellanza . .	—	—	6 000		—		

Ort	Jahr der Inbetriebsetzung	Gefälle m	Leistung PS.	Kraftübertragung: Entfernung km	Kraftübertragung: Spannung Volt	Zweck	Bemerkungen
4. Kraftwerk von Cellina[1]) . .	1905	57	15 600	90	30 000	Stromversorgung von Venedig.	Mit einer Talsperre von 18 m Höhe und Staubecken von 30000 cbm Inhalt. Ein zweites Gefälle von 50 m, sowie ein drittes, etwas geringeres Gefälle stehen zur Verfügung.
5. Gruppe von Genua	um 1904[2])	350	6 000	bis 20	16 000 bis 25 000	Stromversorgung von Genua u. Umgegend. Nach Durchgang durch die Turbinen dient das Wasser der Trinkwasserversorgung von Genua, wohin es in natürlichem Gefälle fließt.	Mit zwei Talsperren von 37 und 40 m Höhe und 2,4 und 3,4 Mill. cbm Stauinhalt am Nordabhange der Apenninen. Ein Tunnel bringt das Wasser nach dem Südabhange, wo die Ausnutzung in drei Stufen erfolgt.
6. Kraftwerk von Morbegno. .	1897	30	6 000	Bahnlänge 106	20 000	Betrieb der Valtellina-Bahn.	Die hohe Spannung wird in den Maschinen unmittelbar erzeugt. — Erweiterung um 3000 bis 4000 PS. geplant.
7. Kraftwerk San Giovanni Lupattoto an der Etsch bei Verona. . . .	—	5,7	2 900	7	10 000	Spinnereibetrieb.	Vorläufig sind 2 Generatorgruppen aufgestellt. In der Spinnerei ist eine Dampfaushilfe von 500 K.W. vorhanden. Der Gesamtwirkungsgrad der Anlage beträgt 72 v. H. Schweiz. Bauz. 1907.
8. Brusio . . .	1907	420	36 000	160	47 000	Verteilung in der Umgebung von Mailand u. im Poschiavino-Tal. Elektr. Betrieb der Berninabahn.	Erster Ausbau auf 18000 PS. E. T. Z. 1907 S. 347. Auf schweizerischem Gebiet.

1) Näheres siehe The Engineer, Febr. 1906.

2) Die älteren Anlagen stammen aus den Jahren 1885 bis 1892.

nur geringen Schiffahrt auf den oberitalienischen Kanälen zu verbinden. Solche Kanäle, die neben der Triebwasserführung der Schiffahrt dienen und mit Schleusen bis 8 m Fallhöhe verbunden sind, finden sich bei den Kraftwerken von Trezzo, Vizzola[1]) und Turbigo[2]).

Hydro-elektrische Kraftwerke in Oberitalien.

Die heutige Wasserkraftnutzung Italiens ist in der Hauptsache gekennzeichnet durch die Entwicklung in Oberitalien, und diese hat sich fast ganz im Flußsystem des Po vollzogen, der seinen Wasserzufluß von links aus den schneebedeckten Gipfeln der Alpen und von rechts aus den bewaldeten Apenninen durch eine Reihe schnell abstürzender Nebenflüsse bezieht. Doch sind die rechten Nebenflüsse die weniger wichtigen,

Tabelle 74. Geplante Wasserkraftunternehmungen in den Apenninen.

Ort	Gefälle etwa m	Leistung etwa PS.	Bemerkungen
Aveto	750	54 000	Mit 2 Ausgleichbecken von 10 und 60 Mill. cbm Inhalt. 3 Werke.
Orba I . . .	550	16 000	Mit je einem Sammelbecken von 8 Mill. cbm Inhalt.
II . . .	90	2 500	
Bormida . . .	400	7 000	Mit Sammelbecken von 8 Mill. cbm Inhalt.
Spezia	800	26 000	Mit Becken von 2,5 Mill. cbm Inhalt.

indem ihre Wasserführung eine sehr wechselnde ist, während die linksseitigen Zubringer infolge der Speisung aus der Schneeschmelze und aus den oberitalienischen Seen einen guten Ausgleich haben. Von diesen Seen bis zum Po hin sind bedeutende gut nutzbare Gefälle vorhanden; so liegt z. B. der Langen-See 142 m, der Comer See 161 m über der Mündungsstelle am Po. Auch die von den Apenninen nach dem Mittelmeer gehenden Flüsse leiden sehr unter ungleicher Wasserführung.

Es lassen sich in Oberitalien eine Reihe großer Wasserkraftgewinnungsstätten unterscheiden, über die die vorstehende Tabelle 73 die wesentlichsten Angaben enthält.

1) Der Kanal von Vizzola dient für den Verkehr von 40 t-Schiffen.

2) Zentralbl. d. Bauverw. 1905. H. Keller, Bericht über den X. internat. Schiffahrtskongreß in Mailand, und Allg. Bauztg. 1906 S. 34.

Von geplanten Wasserkraftunternehmungen in den Apenninen seien noch die in Tabelle 74 verzeichneten Entwürfe kurz erwähnt.

Die vier ersteren Werke sollen zur Versorgung von Genua und der Küste dienen, während das Werk von Spezia den dortigen Hafen mit Kraft speisen wird. Diese Kraftwerke sollen am Abhange der Apenninen nach der Küste des Ligurischen Meeres liegen. Das Gebirge fällt hier steil ab und die Flüsse, welche in den Regenzeiten beträchtliche Wassermassen führen und große Mengen Gerölle herabrollen, sind während des Sommers lange Monate hindurch vollständig trocken. Deshalb sollen die Sammelbecken, wie bei der Gruppe von Genua (Tabelle 73), an dem flachen Nordabhange des Gebirges angelegt werden und das Wasser wird durch Stollen der Südseite zugeführt werden. Von einem Wasserschloß fließt hier in schnell abfallenden Druckleitungen das Wasser den Turbinen des Kraftwerkes zu.

Neben den in der Tabelle 73 erwähnten großen Werken besteht in Italien eine Reihe von Anlagen bis herab zu einigen tausend PS. Leistung für die Kraft- und Lichtversorgung vieler mittlerer und kleiner Städte, Dörfer, Fabriken und Landhäuser, die sich alle nahe gelegene Wasserkräfte zunutze machen. Es werden dabei zum Teil sehr hohe Gefälle (Gromo[1]) 318 m, Leistung 1500 KW.) gefaßt und hohe Spannungen bis 40000 Volt[2]) angewandt, während Übertragungstrecken bis 70 km vorkommen. Es würde zu weit führen, alle diese Unternehmungen, die im einzelnen mancherlei Interessantes bieten, hier zu erörtern. Als die wesentlichsten seien erwähnt die Werke der Städte Como (3250 PS., 250 m Gefälle), Lecco (1650 PS., Gefälle 55 m), Verona (1000 PS.), Brescia (2200 PS.), Bergamo (3400 PS.) usw. Für Brescia ist bei Caffaro ein Kraftwerk von 15000 PS. Leistung errichtet, das ein Gefälle von 250 m nutzbar macht[3]). Die Fernleitung soll auf 54 km erfolgen.

Die außerdem zu hunderten vorkommenden Werke mit Kraftleistungen in verschiedener Größe bis herab zu 10 PS. sind zwar nicht bemerkenswert als Anlagen des Großkapitalisten, sie ermöglichen aber den Kleingewerben die vorteilhafte Ausbeute eines reichen natürlichen Kraftvorrates. Sie sind volkswirtschaftlich von um so größerer Bedeutung, als eine sehr gleichmäßige Verteilung auf der ganzen italienischen Halb-

1) Le Génie Civil 1905 S. 155 u. 181.
2) Zurzeit die höchste Kraftübertragungsspannung in Europa.
3) Genaue Beschreibung s. The Engineer 9. 8. 1907.

insel vorhanden ist. Man sieht in Italien darum mit großer Hoffnung der weiteren Entwicklung der Wasserkraftausnutzung zum Gedeihen aller Wirtschaftsgebiete entgegen.

D. Frankreich.

Die Ausnutzung der Wasserkräfte wird in Frankreich als eine nationale Aufgabe von großer Bedeutung angesehen. Man weist darauf hin, daß ein großer Teil der in der Industrie benötigten Kohlen vom Auslande bezogen werden muß, so ist z. B. im Jahre 1899 von dem Gesamtverbrauch von 45,2 Mill. t die Einfuhr 13,3 Mill. t gewesen. Loppé[1]) berechnet, daß die Aufschließung von 3 Mill. hydraulischen Pferdekräften erforderlich wäre, um diese Kohleneinfuhr entbehrlich zu machen. Solche Wasserkräfte sind in den Wasserläufen nach mehrfachen Schätzungen reichlich vorhanden und selbst wenn man nur die Hälfte der erschließbaren 9—10 Mill. Wasser-PS. als nutzbar annimmt, so könnte durch ihre Verwertung Frankreich von der jährlichen Abgabe nach dem Auslande befreit werden. Die nachstehende Tabelle 75 von De La Brosse gibt einen Überblick über Frankreichs Wasserkräfte.

Tabelle 75. Frankreichs Wasserkräfte.

Nach einer Schätzung von De la Brosse (1904), zum wesentlichen auf Messungen beruhend.

Departement	Bei Niedrigwasser PS.	Bei Mittelwasser PS.	Bemerkungen
Obersavoyen	100 000	375 000	Ohne die Rhonekräfte.
Savoyen	320 000	650 000	
Isère	350 000	800 000	
Hautes-Alpes	300 000	500 000	
Subpyrenäische und südöstliche Departements außer den vier vorherwähnten	1 300 000		
11 Departements in Mittelfrankreich und im Osten	900 000		
Die übrigen Departements	1 400 000		
	4 670 000		

Die gesamten nutzbaren Wasserkräfte Frankreichs bei Mittelwasser werden zu 9 bis 10 Mill. PS. angenommen.

1) Revue technique 1903 S. 709.

Die Bestrebungen zur Nutzbarmachung der Wasserkräfte bekunden sich in Frankreich nicht nur in Vorschlägen und Plänen, es hat vielmehr ein werktätiges Schaffen lebhaft eingesetzt. Schon heute werden in den Hochgebirgen — in den Bezirken der »houille blanche« — bedeutende Kraftanlagen betrieben, und neue Unternehmungen werden fortwährend ins Leben gerufen. In den Gegenden der »grünen Kohle« — den Mittelgebirgen — findet sich weniger die Möglichkeit für große Werke. Doch haben sich hier kleinere Wasserkräfte für nächstgelegenen Bedarf günstig verwerten lassen. Einige bemerkenswerte Zahlen aus der amtlichen Statistik vom Jahre 1896 über die Wasserkräfte Frankreichs gibt Tab. 76. Über die mittleren und kleineren Wasserkräfte in Frankreich gibt eingehenden Aufschluß: H. Bresson, La Houille Verte. 1906. Einige Mitteilungen über den hydrometrischen Dienst in Frankreich s. die Schriften zum XI. Schiffahrtskongreß St. Petersburg 1908, I. Abteilung.

Tabelle 76. Statistik der nutzbar gemachten Wasserkräfte in Frankreich vom Jahre 1896[1]).

(Vom Statistischen Amt in Frankreich.)

1. Länge der für die Industrie und Landwirtschaft nutzbaren Wasserläufe	285 574 km
2. Anzahl der Dampftriebwerke	49 035
3. Anzahl der Wassertriebwerke	69 620
4. Anteil der Wassertriebwerke an allen Triebwerken	59 v. H.
5. Anzahl der Dampfpferdekräfte	1 024 019 PS.
6. Anzahl der nutzbar gemachten Wasserpferdekräfte	1 028 807 »
7. Anzahl der Wassertriebwerke auf je 100 km Wasserlauf	26
8. Anzahl der durchschnittl. auf 1 km Wasserlauf nutzbar gemachten PS.	3,8
9. Durchschnittliche Stärke der Wassertriebwerke	14 PS.

Vor allem setzt man große Hoffnung auf die Übertragung der Wasserkräfte auf große Entfernungen und auf ihre Verwendung für den elektrischen Bahnbetrieb. Und das Wasserkraftwesen Frankreichs kennzeichnet sich schon heute durch ein kühnes Voranschreiten in der Fernleitung. Strecken von 130 km und mehr sind im Departement Aude und in der Dauphiné überwunden worden. Gegenwärtig plant man u. a. 6300 PS. mit einer Hochspannung von 57000 Volt auf eine Länge von 180 km zu übertragen[2]). Es ist das eine Stromspannung und eine

1) Génie civil 1896 und Zentralbl. d. Bauverw. 1898 S. 250.

2) Strecke Moutiers (Savoyen)—Lyon. Le Génie Civil 1905.

Entfernung, die zu den bisher ersten Leistungen in Europa gehören wird, wenn sie überhaupt schon erreicht wurde. Es wird angegeben, daß die mit einer Gefällhöhe von 65 m gewonnene Wasserkraft an zwei je 9 mm starken Kupferdrähten geleitet werden soll — ein gewiß interessantes Unternehmen. Die Kraft wird dem elektrischen Straßenbetrieb dienen.

Wasserkraftverhältnisse im Südosten Frankreichs.

Besondere Anteilnahme wird der Wasserkraftfrage im Bezirk von Grenoble entgegengebracht, und es sei darum der dortigen Entwicklung einige Aufmerksamkeit gewidmet.

In der Umgebung von Grenoble finden sich Gebirgsflüsse, die für die Kraftverwertung nutzbar 50—40000 l/sek. führen und Gefällhöhen von 25 bis mehr als 600 m darbieten. Natürliche oder künstliche Becken zum Aufstau fehlen allerdings, daher ist eine ungleichmäßige Leistung der Werke vorhanden. Diese Wasserkraftunternehmungen im Südosten Frankreichs sind vor allem bemerkenswert in der Mannigfaltigkeit der Mittel, die aufgewendet worden sind, um die Wasserkräfte nutzbar zu machen. Fast jede Anlage hat darin ihre Eigenart. Dort ist die Wassermenge und die Aufnahmefähigkeit der Turbinen bedeutend, hier fällt das hohe Gefälle und die große Umdrehungsgeschwindigkeit der Maschinen auf. Die wasserbaulichen Arbeiten für die Zuführung des Wassers zu den Kraftwerken — in offenen Kanälen, Tunneln und Druckrohrleitungen —, die Stauanlagen u. a. sind mit außerordentlicher Verschiedenheit ihrem Zweck angepaßt. Als bedeutsamstes Niederdruckwerk dieser Gegend, in dem mit schwachem Gefälle und großer Wassermenge eine starke Kraftleistung erzeugt wird, tritt die Anlage von Jonage hervor, die weiter unten ausführlicher beschrieben wird. In Chapareillan und Lancey ist die umgekehrte Nutzwirkung vorhanden: kleiner Wasserzufluß und hohes Gefälle (500 bis 600 m). Bei diesen Hochdruckanlagen haben die Druckleitungen — im Durchmesser schwankend von 30 cm bis mehr als 3 m — mit ihren Sicherungen besonderes Interesse.

Die elektrochemische Verwertung der Wasserkräfte steht obenan, sie schließt sich dem ungleichen Wasserzufluß am besten an[1]). Man zählt im eigentlichen Alpengebiet 25 größere hydro-elektrochemische Werke mit 74000 PS. Leistung von 33 derartigen Anlagen, die über-

1) Vgl. den Aufsatz: L'état actuel de l'électrosiderurgie. Le Génie Civil 1906 u. 07.

haupt in Frankreich vorhanden sind. Vor allem wird hier Calciumcarbid erzeugt, und diesen Werken ist allerdings eine Krise nicht ganz erspart geblieben. Im übrigen findet der elektrische Strom die mannigfachste Anwendung für Beleuchtung, Zugförderung und Kraftverteilung. Einige Kraftwerke haben sich lediglich einer Betriebsart gewidmet; die meisten dienen aber verschiedenen Verwendungsformen gleichzeitig, um besseren Erfolg zu erzielen als bei einseitiger Betätigung.

Der Unternehmungsgeist in dieser Gegend ist außerordentlich. Man zögert nicht, bedeutende Kapitalien aufzuwenden, um Wasserkräfte von 6000, 8000 oder 10000 PS. zu erschließen, ehe noch eigentlich der Absatz der Kraft gesichert ist, in der guten Hoffnung, daß die fortschreitende wirtschaftliche Entwicklung schon dafür sorgen wird. Und man sieht sich nicht getäuscht, wie die Erfahrung gelehrt hat.

Also: Große Mannigfaltigkeit in der technischen Lösung, eine nicht minder große Verschiedenheit der Anwendungsformen, Kühnheit der Unternehmungen und Zuversicht, daß der Kraftbedarf den erzeugten Leistungen überlegen sein wird — das sind die vier Merkmale, die die hydro-elektrischen Anlagen des französischen Alpengebietes kennzeichnen[1]).

Es sei noch mit wenigen Worten auf einige bemerkenswerte Wasserkraftanlagen in diesem Teile Frankreichs eingegangen.

Das Tal der Isère (Rhonegebiet) ist ausgezeichnet durch Kraftanlagen von sehr großem Gefälle. Hier ist die Wiege der neuzeitlichen Wasserverwertungskunst in Frankreich. Als erste entstand im Jahre 1868 die Anlage von Lancey mit 200 m Nutzhöhe. Später wurden hier u. a. drei Werke von 4000 bis 5000 PS. mit einer Gesamtgefällhöhe von 1700 m angelegt, derart, daß auf jedes Werk etwa 500 m entfallen. Sie treiben eine Papiermühle und geben Kraft für Licht und Bahnzwecke. Im Tal des Drac (Nebenfluß der Isère) werden die Wasserkräfte auf 100000 PS. geschätzt. Ausgenutzt werden u. a. 5600 PS. zu Champ, 15 km von Grenoble (32 m Gefälle), von wo die Kraft mit 26000 Volt auf 36 km ferngeleitet wird (s. S. 207), ferner 4000 bis 7500 PS. im Kraftwerk zu Avignonet (Wehr von 20 m Höhe, s. S. 130). Die Fernleitung findet auf 100 km mit 26000 Volt Spannung statt. La Romanche, ebenfalls ein Nebenfluß der Isère, hat auf 20 km Länge nicht weniger als 6 Anlagen

1) De la Brosse, Install. Hydro-Électr.

von 30000—40000 PS. für mechanische, elektrische und elektrochemische Zwecke. Ferner sei hier noch erwähnt das Kraftwerk von Chèdde und das der Bahn von Chamonix an der von den Gletschern gespeisten Arve mit zwei Gefällstufen von 39 bzw. 139 m (s. S. 161). Die Leistung ist 1300 bzw. 10000 PS.

Die hauptsächlichsten hydro-elektrischen Werke in den Bezirken am Mittelländischen Meer finden sich an den Flüssen Var, Loup, Siagne[1]), Argens und Durance, die zum Teil in dieses Meer münden, zum Teil dem Flußsystem der Rhone angehören. Es sind hier ausgebreitete Übertragungsnetze vorhanden, und man unterscheidet im wesentlichen 3 Gebiete:

1. das Netz der See-Alpen (Alpes-Maritimes), das mit 10000 V. Spannung arbeitet,
2. das Netz von Var, das mit 30000 V. und
3. das Netz von Bouches-du-Rhône, das mit 50000 V. arbeitet.

Diese Netze werden je von mehreren Wasserkraftwerken, die zum Teil Dampfaushilfe haben, gespeist. Die Werke haben die Genehmigung, den Strom an die Gemeinden zu verteilen.

Der Strom dient außerdem sehr viel für elektrischen Bahnbetrieb[2]) (Marseille, Cannes, Toulon). Den Betrieb hat in der Hauptsache eine große Gesellschaft inne, »La Société Énergie électrique du Littoral méditerranéan« in Marseille.

Von größeren französischen Niederdruckwerken ist hervorzuheben das Kraftwerk Jonage der Stadt Lyon an der Rhone, das mit einem Geldaufwande von 36 Mill. Mk. angelegt ist. Durch einen 18,6 m langen Kanal, der zugleich der Bewässerung umliegender Ländereien und der Schiffahrt dient, ist ein Gefälle von 10—12 m gewonnen worden (siehe S. 93). Vertragsmäßig dürfen der Rhone normal 100 cbm/sek. entnommen werden. Ein Aufstaubecken am Kanal ermöglicht es, die Betriebswassermenge vorübergehend auf 300 cbm/sek. zu erhöhen, womit eine Leistung von 22750 PS. erzielt wird. Es sind acht Turbinen von je 1350 PS. und acht Turbinen von 1500 PS. vorhanden. Die Kraft wird in elektrische Energie umgesetzt und findet für Kraft- und Beleuchtungs-

1) Le Génie Civil 25. 8. 06 (Beschreibung dieser Werke).

2) Nähere Mitteilungen an der Hand von Übersichtskarten, Le Génie Civil vom 13. 10. 1906.

zwecke Verwendung[1]). Bemerkenswert ist ferner das Elektrizitätswerk von Saut-Mortier im Dep. Jura, das bei 17 m Gefälle rd. 3000 PS. nutzt. Die großen Schwankungen der Wasserführung des Ain-Flusses werden durch ein natürliches Seebecken ausgeglichen. In Zeiten des Niedrigwassers kann dieses Becken um 10 m gesenkt und eine Aufspeicherung von 20 Mill. cbm Wasser gewonnen werden. Für die Holzflößerei ist um das Stauwerk ein Kanal angelegt[2]).

Neuerdings ist ein weitgehender Vorschlag gemacht worden für die Deckung des wachsenden Bedarfs an Elektrizität in Paris, der für die nächste Zukunft für den Betrieb der Stadtbahnen, Beleuchtung, Kraftverteilung u. a. m. auf 700 Mill. KW. St. jährlich berechnet wird. Zur Ergänzung der Dampf- und anderen Wärmekraftleistung der vorhandenen, einigen Gesellschaften gehörigen Werke wurde nach einer Wasserkraft gesucht, und die Rhone bei ihrem Eintritt in Frankreich bietet in der Nähe von Bellegarde die Möglichkeit, eine große Kraftquelle aufzuschließen. Es stehen hier während drei Monaten bei N.W. 130 cbm/sek. und während sechs Monaten bei M.W. 330 cbm/sek., bei HW. 1250 cbm/sek. bei einem Gefälle von 65 bis 69 m auf 22 km Flußlänge zur Verfügung. Es können somit etwa 180000 bis 200000 PS. an 300 Tagen im Jahr gewonnen werden. Diese ganze gewaltige Kraft ist noch fast ungenutzt. Denn nur 5000 PS. sind jetzt in Bellegarde nutzbar gemacht. Mit dem Wasserkraftwerk soll ein Staubecken verbunden werden, nach dem einen Vorschlag von 2 Mill. cbm, nach einem zweiten Entwurf von 100 Mill. cbm, im ersteren Falle zur Ausgleichung des Wasserabflusses und der Kraftlieferung während eines Tages, im zweiten Falle für Trockenperioden. Die Übertragung nach Paris auf etwa 450 km ist mittels hochgespannten Gleichstroms geplant von 120000 oder 160000 Volt. Gegenwärtig kostet in Paris den Elektrizitätsgesellschaften eine Kilowattstunde bis 12 Pfg., im allgemeinen 10 Pfg. (Selbstkostenpreis). Der Verkaufspreis beträgt 40 Pfg. für die nutzbare KW. Stunde. Man hofft nach dem Ausbau des Rhonekraftwerkes den Verkaufspreis für Großabnehmer auf 6 Pfg. herabsetzen zu können[3]).

Die Gesamtbaukosten einschl. der Fernübertragung und der Um-

1) Zentralbl. d. Bauverw. 1900.

2) Wagenbach, Francis-Turbinen, und Le Génie Civil 1901.

3) Engineering 5. 4. 07 S. 454, woselbst einige Einzelheiten. Siehe auch Schweiz. Bauz. 10. 11. 06. E. T. Z. 1907 S. 511 u. Z. f. d. ges. Turb. 1907 S. 268.

Tabelle 77. Neuere Wasserkraftanlagen in Frankreich[1]).

Name des Kraftwerkes	Departement	Flußlauf	Gefälle m	Leistung PS.	Kraftübertragung: Entfernung km	Kraftübertragung: Spannung Volt	Verwendung	Bemerkungen
Jonage (Cusset) .	Rhône	Rhône	10—12	16 000 bis 23 000	Verteilungsnetz hat 330 km Gesamtlänge.	—	Licht- u. Kraftverteilung in der Stadt Lyon.	Betriebskanal 18 km lang (Umleitung der Rhône). Am Kanal Ausgleichweiher von 160 ha Fläche.
Servoz	Haute-Savoie	Arve	39	1300	38 (Bahnlänge)	—	Elektr. Betrieb der Bahn Fayet—Chamonix.	4 Turbinen zu je 325 PS. Siehe S. 161.
Pontcharra . .	Isère	Bréda	42	1300 bis 3000	—	10 000	Beleuchtung von Chambery.	
Lancey	Wie vor.	Lancey	485	4000 bis 5000	43 (Netz)	—	Papierfabrikation, elektrochemische Zwecke, Beleuchtung u. Straßenbahnbetrieb.	In Lancey wurde das erste größere Übertragungsnetz in Frankreich (43 km) eingerichtet.
Rioupéroux . .	Wie vor.	Romanche	2 Fälle von 35 bis 40 m	7000 bis 8000	—	—	Papierfabrikation.	
Avignonet . .	Wie vor.	Drac	18,5 bis 23,5	4000 bis 7500	100	26 000	Kraftübertragung. Bergwerks- u. Straßenbahnbetrieb (Grenoble nach Villard-de-Lans).	Mit massivem Wehr von 20 m Stauhöhe. Der Ausbau ist für 7 Turbinen von je 1750 PS. vorgesehen. Die Übertragung auf 100 km war bei Errichtung des Werkes — 1901 — die längste in Frankreich.
Champ	Wie vor.	Wie vor.	32	5600	36	26 000	Elektrische Kraftübertragung.	6 Turbinen zu je 1320 PS. Siehe S. 207.
Vozère	—	Vozère	43	1800	80	20 000	Kraftübertragung nach Limoges.	
Entraygues . .	Var	Argens	15—20	3000	58 3 Drähte, jeder von 28 qmm Querschnitt. (Kupfer.)	28 000	Kraft- u. Lichtversorgung von Toulon und Umgegend.	Mit 500 m langer Druckrohrleitung aus Eisenbeton. Durchm. 2,9 m. Le Génie Civil 1906.
Bournillon . .	Isère	—	98	4000	—	—	Kraft- u. Lichtversorgung von Vienne.	Vergrößerung auf etwa das Doppelte geplant.
Clermont-Ferrand	Puy-de-Dôme	Sioule	32	5000	27	20 000	Kraft- u. Lichtverteilung.	6 Turbinen zu je 1200 PS.
Moutiers . . .	Savoie	Isère	65	6300	180	57 600*)	Kraft- u. Lichtverteilung in Lyon.	4 » » » 1570 » *) Erhöhung auf die doppelte Spannung ist vorgesehen.

Elektrochemische Wasserkraftwerke der französischen Alpenregion.

				(Genutzte Leistung)			Erzeugnis	
Bellegarde . .	Ain	—	—	600	—	—	Calciumcarbid.	
Pont-du-Risse	Haute-Savoie	Giffre	71	6 000	—	—	Wie vor.	Es stehen bis 9000 PS. zur Verfügung. Ausbau auf 8 Turbinen von je 1100 PS. geplant.
Chèdde . . .	»	Arve	139	10 000	—	—	Wie vor. Chlorate.	Siehe S. 161.
La Praz . . .	Savoie	Arc	—	8 000	—	—	Wie vor. Aluminium.	
Saint-Michel . .	»	—	—	12 000	—	—	Carbid. Aluminium. Chlorate.	
Saint-Jean . . .	»	—	—	8 000	—	—	Chlorate.	
Epierre	»	—	—	1 200	—	—	Carbid.	
Montgirod . .	»	Isère	—	2 600	—	—	Chlore und Soda.	
Briançon . . .	»	—	—	3 000	—	—	Carbid.	
La Bathie . . .	»	—	—	2 200	—	—	Carbid. Carborund.	
Chailles . . .	»	Guiers	—	1 800	—	—	Carbid.	
Saint-Béron . .	»	—	—	1 800	—	—	Wie vor.	
Cernon (Chapareillan) . . .	Isère	Cernon	620	300 bis 1 500	—	—	Wie vor. Beleuchtung.	Die Anlage ist bemerkenswert wegen der außerordentlichen Gefällhöhe — der größten Druckhöhe in Frankreich.
Froges	»	Froges	—	600	—	—	Wie vor.	
Livet	»	Romanche	60	10 000	—	—	Wie vor. und Fernübertragung nach Grenoble mit 32 000 Volt.	2 Anlagen. Die ältere dient elektrochemischen Zwecken, die neuere der Kraftverteilung. Le Génie Civil 1. 6. 07.
Les Clavaux . .	»	—	—	5 000	—	—	Natrium.	
Séchilienne . .	»	—	—	1 200	—	—	Carbid.	
Ugine	Savoie	Arly	125	8 500	—	—	Elektrometallurgie.	

1) Zum Teil nach De La Brosse, Installations Hydro-Électriques.

formerstationen sind auf 48 Mill. Mk., die Betriebskosten jährlich zu 4,4 Mill. Mk. veranschlagt worden.

Die Wasserkraftverhältnisse im Zentrum, Westen und Norden Frankreichs.

Im zentralen Frankreich (Puy de Dôme) hat die Frage der Wasserkraftnutzung neuerdings erhöhtes Interesse gewonnen. Man kann sich dort zwar nicht in Vergleich stellen mit den reichen Hilfsquellen der »Houille blanche«. Denn z. B. der Fluß Allier führt in trockner Zeit nur wenig mehr als 7 cbm/sek., und auch die anderen Flüsse haben im Sommer sehr geringe Wasserführung, und Gefällhöhen von mehr als 100 m sind selten. Aber doch bietet sich dem Geschick des Ingenieurs manche günstige Gelegenheit zur Betätigung. Das Flußgebiet der Loire ist schon jetzt Gegenstand mancher bedeutenden Wasserkraftnutzung geworden. Ebenso besitzt das Flußgebiet der Dordogne beachtenswerte Kraftquellen. Hier ist zu erwähnen ein Kraftwerk von 1800 PS. an der Vozère (Gefälle 43 m), dessen Kraft mit 20000 Volt auf 80 km Entfernung nach Limoges übertragen wird. Die in den Pyrenäen nutzbar gemachten Wasserkräfte werden auf 40000 PS. beziffert.

Der Norden Frankreichs gilt als wenig begünstigt für die hydraulische Kraftnutzung. Wasserfälle sind dort selten zu finden, und diejenigen, die vorhanden sind, sind wegen des geringen Gefälles im allgemeinen kostspielig zu fassen. Neuerdings sind aber auch hier einige bemerkenswerte Anlagen entstanden, u. a. das Kraftwerk Mazarin bei Mézières (Maas)[1]).

Die Tabelle 77 gibt eine Übersicht über die bedeutenderen Wasserkraftanlagen Frankreichs. Einige Mitteilungen über Tarife und den Betrieb französischer hydro-elektrischer Werke findet man in dem mehrfach erwähnten Buche von De La Brosse. Siehe auch S. 464.

Staatliche Förderung der Wasserkraftausnutzung und der Kongreß de la Houille Blanche in Grenoble.

Ungeachtet des außerordentlichen Aufschwunges, den die Verwertung der Wasserkräfte genommen, halten die französischen Ingenieure ihrem Lande vor, daß noch die richtige Tatkraft auf diesem Wirtschaftsgebiet fehle. Die Fachzeitschriften heben hervor, daß die Landwirtschaft

1) Le Génie Civil, Dez. 1905.

eine gewisse Schwerfälligkeit gegen die Neuerungen des elektrischen Betriebes zeige, obwohl doch gerade der Landwirt darin Erleichterungen finden könne, um sich von menschlichen Hilfskräften zu entlasten. Und es ist lehrreich, dem Gedankengange der französischen Ingenieure zu folgen, denn man erhält daraus einen Einblick in die inneren wirtschaftlichen Verhältnisse des Landes. Ingenieur Salvador[1]) betont, wie die Anteilnahme an den Fortschritten der Kultur den Landmann anregen würde und wie die Einführung des Maschinenbetriebes auf seiner Farm mancherlei Ersparnisse gegenüber der Verwendung menschlicher Arbeitskraft einbringen würde. Sein Einkommen könne gehoben werden und er wird Geld frei bekommen für andere Zwecke des Lebens. Der Gebrauch der elektrischen Beleuchtung im Hause und in den Wirtschaftsräumen würde auf sein Gemüt aufmunternd wirken und ihn den Annehmlichkeiten näher bringen, die dem Städter zur Verfügung stehen. Man könne hoffen, durch solchen intensiveren Betrieb die schwierige Lage der Landwirtschaft, in die sie durch den Wettbewerb des billiger produzierenden Auslandes gebracht ist, besser zu überwinden. Man ersieht, es sind im wesentlichen dieselben Gründe, die auch bei uns für die Verwendung des elektrischen Stromes in der Landwirtschaft sprechen. Der französische Staat fördert die elektrische Nutzbarmachung der Wasserkräfte für landwirtschaftliche Zwecke durch Geldunterstützungen an Gemeinden und Genossenschaften und im besonderen verfolgt diese Absicht ein Erlaß des Landwirtschaftsministers vom 6. Januar 1904, in dem er die Fürsorge der Verwaltungsbehörden auf diesen Gegenstand hinlenkt und zur Bildung von landwirtschaftlichen Genossenschaften für die Verwertung der Wasserkräfte anregt[2]). Mit dem 15. Juni 1906 ist ein Gesetz in Kraft getreten über die elektrische Kraftverteilung, das alle derartigen Einrichtungen betrifft, soweit sie nicht dem Telegraphen- und Fernsprechwesen angehören. Es zerfällt in zwei Teile: Verteilung innerhalb der Grenzen von Privateigentum und Übertragung auf öffentlichen Straßen. Das Gesetz behandelt vornehmlich die Genehmigung der Fernübertragung der Kräfte und hat darum für die Fernverwertung der Wasserkräfte große Bedeutung[3]).

1) Nouvelles annales de la construction 1904 S. 189.

2) Génie civil 1904 S. 207. Dem Erlaß sind Rentabilitätsberechnungen beigegeben. S. auch La Revue Technique 1904 S. 576.

3) Näheres s. Engineering vom 29/4. 07 u. Nouvelles Ann. de la Construction 1906.

Aber man ist in Frankreich auch bemüht, die Wasserkräfte für das Kleingewerbe nutzbar zu machen, um den kleinen Mann, der in den großen Massenbetrieben aufzugehen droht, in seiner Selbständigkeit zu erhalten. Man hofft dadurch ferner den Kleinbesitz und die Pflege der heimatlichen Scholle zu heben und der Abwanderung aus dem platten Lande nach den Großstädten entgegen zu wirken. Der Staat ist auch hier ein eifriger Förderer solcher Bestrebungen.

Ein Hindernis für die ausgedehntere Nutzbarmachung der Wasserkräfte erblickt man in den widrigen rechtlichen und wirtschaftlichen Interessen. Eine den neuen Anschauungen und wirtschaftlichen Forderungen angepaßte gesetzliche Regelung der Wasserkraftfrage ist daher in Frankreich in den letzten Jahren lebhaft erörtert und eine Reihe von Vorschlägen sind gemacht worden. Im Jahre 1900 hat die französische Regierung einen Gesetzentwurf aufgestellt, dessen Wesen in dem Bestreben nach Verstaatlichung der Wasserkräfte besteht. Der Entwurf unterscheidet zwischen Kraftwerken mit 100 PS. und mehr Leistung und solchen von weniger als 100 PS. Jene werden als »öffentliche«, diese als »private« Kraftanlagen bezeichnet. Die Werke mit mehr als 100 PS. Leistung sollen Staatseigentum sein und dem Staate soll das Recht zustehen, ihre Nutzung für die Industrie und öffentliche Zwecke auf bestimmte Dauer zu genehmigen. Nach Ablauf dieser Zeit sollen die Wasserkraftwerke ohne Entschädigung an den Staat fallen.

Die öffentliche Meinung Frankreichs, die Handelskammer u. a. haben zu diesem Gesetzentwurf vielfach Stellung genommen — meist mit Widerspruch, indem man in den Bestimmungen einen Eingriff in die Unverletzlichkeit des Eigentums erblickte. So auch der Kongreß »de la Houille Blanche« im September 1902.

Dieser Kongreß von Grenoble hatte zum Zweck:

1. die Vor- und Nachteile der verschiedenen Gesetzentwürfe über die rechtliche Behandlung der Wasserkräfte zu erörtern, und
2. die Entwicklung zu zeigen, die in der Dauphiné und in Savoyen die Nutzbarmachung der Wasserkräfte schon genommen hat, und die Aufmerksamkeit der Industriellen auf die zahlreichen in diesen Bezirken noch erschließbaren Wasserkräfte hinzulenken.

Der Kongreß von Grenoble kennzeichnet einen Markstein in der Entwicklung der Wasserkraftausnutzung Frankreichs. Es war dieser Kongreß eine Vereinigung von Männern, die in Betätigung wissenschaft-

licher Forschung und praktischer Erfahrung die gesteigerte Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit auf den Gedanken der Erschließung der »weißen Kohle« lenkte. Vertreter des Rechts und der hydraulischen und elektrischen Ingenieurwissenschaften haben hier in Grenoble den Gegenstand von gesetzgeberischen, wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten erörtert, um ihrem Vaterlande zu dienen in der Aufschließung heimatlicher Hilfsquellen. Es ist ein Vorgang, der sicherlich nicht verfehlen wird, praktische Erfolge zu zeitigen, und der auch bei uns nachahmenswert sein sollte[1]).

E. Schweden. Norwegen.

Norwegen hat, wie Frankreich, die Schweiz und andere Länder, an der Westküste natürliche Ausgleichweiher in den Gletschern. Wichtig für einen gleichmäßigen Wasserhaushalt sind zudem seine Hochmoore und Waldungen. Die vielen norwegischen Binnenseen bieten in außerordentlich günstiger Weise die Möglichkeit, mit geringen Mitteln eine Regelung der Abflußmengen herbeizuführen. Es kann dies vielfach in einfacher Weise durch Aufhöhung der Abflußstelle des Sees durch einen gemauerten Damm oder ein Nadelwehr geschehen. Bei den großen Flächen lassen sich durch Stauungen von einigen Wehren sehr bedeutende Fassungsräume schaffen, z. B. beim See Mjösen im Glommengebiet können durch ein Wehr von 3 m 1100 Mill. cbm nutzbar gemacht werden[2]).

Die neuere Erfoschung der Wasserkraft in Schweden begann damit, daß in den Jahren 1899 bis 1903 eine besondere Kommission, das »Vattenfallskomitten«, damit beauftragt wurde, die Stärke der dem Staate gehörigen Wasserkräfte zu ermitteln. Nach neueren Schätzungen sollen die wirklich nutzbaren Wasserkräfte in Schweden 2,0 Mill. PS. und in Norwegen 1,5 Mill. PS. betragen[3]).

Neuere Wasserkraftanlagen.

Süd-Norwegen besitzt in etwa 260 Wasserfällen annähernd 3300 m Gesamtfallhöhe, und es sollen viele hunderttausend Pferdekräfte hier erschlossen werden können. Die Wasserwirtschaft Norwegens und

1) Näheres Le Génie Civil 1902.
2) Holz, Über Wasserkraftverhältnisse in Skandinavien und im Alpengebiet.
3) J. f. d. ges. Turb. 1906 S. 535.

Schwedens hat infolge dieses Wasserreichtums in letzter Zeit wesentlichen Aufschwung genommen, und eine Reihe von Wasserkraftwerken sind entstanden. Es seien nur erwähnt als eines der größten und interessantesten Kraftwerke von Europa die Kykkelsrudanlage. Das Werk ist ausgebaut für eine Leistung von 45000—52000 PS., die rund um den inneren Teil des Christiania Fjord mit einer Hochspannung von 20000 V. bis auf 87 km Entfernung verteilt werden. Für eine kürzlich vorgenommene Erweiterung der Maschinenanlagen ist die Betriebsspannung auf 50000 V. erhöht worden. Die Fernleitung erfolgt auf Holzmasten. Das Elektrizitätswerk Hafslund bei Sarpsborg in Norwegen arbeitet für eine Karbidfabrik, ein Metallschmelzwerk und eine elektrische Vollbahn von 7 km Länge, außerdem für Beleuchtung und Kraftzwecke. Seine Leistungsfähigkeit beträgt 24000 PS.; zusammen mit dem Kraftwerk Borregaard (Holzstoffabrik) wird eine Wasserkraft von annähernd 50000 PS. ausgenutzt.

Das Elektrizitätswerk Gravfos der Stadt Drammen und die Holzstoff- und Papierfabrik Embretsfos liefern eine Kraft von 15000—20000 PS. Die Holzschleiferei Labro verwertet den 36 m hohen Wasserfall Labrofos am Flusse Laagen. Weiterhin seien genannt das Werk der Stadt Drontheim (30 m Gefälle, Leistung 2400 PS., auf 10000 PS. erweiterungsfähig) und das Karbidwerk Notodden in Norwegen (Gefälle 18,5 m, Leistung 20000 PS.), das zugleich Kraft und Licht an die Gemeinde Notodden liefert und die elektrische Energie zur Erzeugung von Düngemitteln aus dem Stickstoff der atmosphärischen Luft verwertet.

Die Nutzbarmachung des Gefälles an Schiffahrtsstraßen gestaltet sich auf der skandinavischen Halbinsel meist günstig. Ein Beispiel hierfür bietet der Bandak-Skien-Kanal. Dieser Kanal stellt die Schiffahrtverbindung her zwischen der Meereshöhe bei der Stadt Skien und dem Wasserspiegel + 72 m im Bandaksee. Dabei kommt als größte Staustufe die 23 m hohe Stufe Vrangfos vor, welche die Schiffe mit einer Schleusentreppe von 5 Gefällen überwinden. Bedeutende Wasserkräfte sind an diesem Kanal erschlossen worden. Die Union, die größte Anlage dieser Art in Norwegen, nutzt in einer Zellulose- und Holzschleiferei nebst Papierfabrik rund 10000 PS. aus. Diese Werke liegen für die Fabrikation äußerst günstig, das Rohmaterial — die Baumstämme — werden aus den Wäldern angeflößt und die fertigen Produkte können nach kurzer Fahrt auf der elektrischen Uferbahn in Seeschiffe verladen

werden [1]). Es ist dies ein treffendes Vorbild, wie vorteilhaft sich die industrielle Ausnutzung der am masurischen Seenkanal gewinnbaren Wasserkräfte und des Holzreichtums der umliegenden Waldungen in Ostpreußen mit Hilfe der Schiffahrt dieses Kanals gestalten könnte. Bemerkenswert ist die Gründung der Gebäude bei diesen Kraftwerken. Sie wurde dadurch vereinfacht, daß das Wasser den Turbinen in geschlossenen Rohrleitungen zufließt und in schmiedeeisernen Saugrohren abströmt, so daß die Fundamente des Hauses nicht vom Wasser bespült werden.

Die Ausbaukosten der Wasserkräfte sind auf der skandinavischen Halbinsel infolge der günstigen natürlichen Verhältnisse niedrig. Für das Kykkelsrudwerk soll die Herstellung etwa 200 Mk. für 1 Pferdekraft (ohne Grunderwerb) gekostet haben. In Notodden stellt sich die Jahrespferdekraft auf nur 12 Mk.

Gewerbliche und staatliche Verwertung der Wasserkräfte in Schweden und Norwegen.

Die norwegische Industrie und Kapitalskraft gilt heute noch als wenig leistungsfähig. Die ältere Industrie beschränkt sich fast nur auf die Holzverwertung (Zellulose- und Papierfabrikation), während die neueren großen Wasserkraftanlagen in der Hauptsache der chemischen Verarbeitung von Rohstoffen des Landes (Karbid) dienen. Die Fernübertragung der Kräfte ist noch wenig ausgebildet. Neuerdings plant man in Schweden eine Übertragung auf 150 km zur Versorgung von Stockholm. Immerhin ist es für die Beurteilung der Bedeutung der Wasserkräfte bemerkenswert, daß die Kohleneinfuhr nach Schweden seit dem Jahre 1898 fast auf demselben Punkte stehen geblieben ist. Man sieht den Grund dafür zum wesentlichen in dem Umstande, daß die reichen Wasserkräfte des Landes mehr und mehr für Kraft- und Verkehrszwecke aufgeschlossen werden. Auch in der Gaserzeugung ist eine Abnahme des Verbrauchs von Kohlen festzustellen, weil die elektrische Beleuchtung allgemeinere Ausbreitung erfährt. Günstig ist diesem Entwicklungsgange die gleichmäßige Verbreitung der Wasserkräfte über das Land.

Weil die Hilfskräfte des eigenen Landes nicht auf der vollen Höhe stehen, bietet Schweden und Norwegen der ausländischen Unter-

1) Wagenbach, Turbinenanlagen.

nehmung ein großes Feld. Deutsches und englisches Kapital hat sich darum auch in den Fabrikanlagen und in den neuesten Elektrizitätswerken lebhaft beteiligt. Im besondern für Deutschland liegen die Verhältnisse insofern günstig, als viele große Wasserkräfte sich ganz in der Nähe der Küste vorfinden, so daß von den Kraftwerken gute Schiffsverbindung nach allen Richtungen vorhanden ist.

Auch die Fortschritte in der Technik der Fernübertragungen haben im Auslande den Wunsch wach werden lassen, aus den Wasserschätzen Skandinaviens Vorteil zu ziehen. So plant man am Lagaflusse in Schweden Wasserkraftwerke zu errichten und ihre Energie mittels unterseeischen Kabels nach Dänemark zu überführen. Diese Fernleitung über See ist als eine neue Übertragungsart sicherlich eine interessante Erscheinung. In Anbetracht solcher Entwicklung könnte selbst in Deutschland der Gedanke rege werden, aus den reichen nordischen Kraftvorräten zu schöpfen. Denn die Entfernungen vom südlichen Teile Schwedens bis zu unserer Küste sind nicht größer als die in Amerika ausgeführten Übertragungsstrecken [1]).

Aber es scheint, daß sich solchen Plänen Hindernisse wirtschaftspolitischer Art entgegenstellen wollen. Denn neuerdings sind in Schweden und Norwegen — ähnlich wie in der Schweiz — Strömungen vorhanden, das Ausland von der Beteiligung an der Nutzbarmachung der heimischen Wasserfälle möglichst auszuschließen. Und damit im Zusammenhange steht in beiden Ländern das Bestreben, die Wasserkräfte zu verstaatlichen. Schweden ist auf diesem Wege vorangegangen, hat Wasserfälle gekauft und ihre Energie zum Teil schon für den elektrischen Betrieb seiner Eisenbahnen erschlossen. Norwegen bemüht sich, dem Nachbarlande darin zu folgen, die Wasserkraftverwertung durch gesetzliche Bestimmungen zu regeln und der Ausbeute durch ausländische Unternehmungen zu entziehen. Es ist ein vorläufiges Gesetz über den Erwerb von Wasserfällen, Bergwerken und Wäldern durch Ausländer erlassen. So tritt auch hier in der Behandlung dieser bedeutsamen Frage das nationale Moment stark in den Vordergrund.

Zurzeit beanspruchen eine Reihe skandinavischer Wasserkraftunternehmungen das größte Interesse. Eine wichtige Tatsache ist, daß Schweden den Trollhättan-Kanal angekauft hat. Man beabsichtigt,

1) Siehe Abschn. V, 2, G.

einen Wasserweg von Göthenburg nach Stockholm herzustellen. Mit der Erwerbung dieses Kanals ist der Staat Eigentümer der Trollhättan-Wasserfälle geworden, die in einer Stärke von 75000 bis 100000 PS. nutzbar gemacht werden sollen, wohingegen der erste Ausbau auf 28000 PS. mit einem Kostenaufwande von etwa 9,5 Mill. Mk. geschehen wird. Hand in Hand damit sollen wesentliche Verbesserungen des Kanals als Schiffahrtsstraße erfolgen [1]). Der Staat will die Kraftanlage selbst ausbauen und betreiben, und man hat dabei in erster Linie den elektrischen Betrieb der Eisenbahnen im Auge.

Der schwedische Staat hat ferner im Jahre 1906 für die im Reichstag bewilligten 5,6 Mill. Mark folgende Wasserfälle zum Gesamtpreise von 4,4 Millionen Mark angekauft:

1. Die Motalafälle im Motalastrom (Abstrom für den Wetternsee)
2. Karsefall im Laganfluß (ins Kattegat mündend)
3. Svartånwasserfall im Svartån, Nebenfluß des Motala.

Diese Kräfte sind in erster Linie für den elektrischen Eisenbahnbetrieb der ganzen südlichen Hälfte Schwedens mit einem Bahnnetz von etwa 2000 km in Aussicht genommen. Weiterhin soll aus dem bewilligten Gelde der Hammarbyfall im Stockholmer Bezirk angekauft werden.

Es ist zunächst der Bau von 5 grosen Kraftwerken an den vorgenannten Wasserfällen in Aussicht genommen. Die Anlagekosten dieser Elektrizitätswerke nebst den zugehörigen Leitungen sind auf rd. 70 Mill. Mark veranschlagt. Gegenüber den jetzigen Zugförderungskosten von 6,8 Mill. Mark wird eine Ersparnis von rd. 500000 berechnet. Der elektrische Betrieb dieses großen Bahnnetzes scheint somit also zum wenigsten nicht teurer als der Dampflokomotivbetrieb zu sein. Dazu kommt, daß Schweden vom Auslande und seiner Kohlenzufuhr (Ausgabe jährlich 4,5 Mill. Mark) unabhängig wird und einer mächtigen Erschließung der Kraftquellen des eigenen Landes entgegengeht [2]). Das bedeutet sicherlich den Beginn einer bedeutenden Entwickelung.

Das zweite Unternehmen betrifft den Rjukanfos, der als der gewaltigste Wasserfall Norwegens gilt. Er vereinigt auf 9 km Länge eine Fallhöhe von 550 m, von denen in einem einzigem Abfall über 100 m vereinigt sind. Eigentümerin des Rjukanfos ist eine private Gesellschaft, die den Ausbau der 550 m Gefälle mit 40 cbm/sek. zur Gewinnung von

1) E. T. 1907 S. 468.
2) Engineering 1. 3. 07.

220000 PS. beabsichtigt. Das Unternehmen soll elektrochemischen Zwecken dienen. Zur Sicherung des Mindestwassers von 40 cbm/sek. ist oberhalb des Wasserfalles beim Ausfluß des Sees Mjösvand eine 10 m hohe Staumauer z. Z. im Bau begriffen, die ein Staubecken von 600 Mill. cbm schaffen wird [1]).

F. England.

Die Engländer rechnen es sich zum nationalen Stolze an, daß die erste praktische Verwertung der Wasserkraftausnutzung durch Umwandlung in elektrische Energie und Fernleitung für Beleuchtungszwecke in ihrem Lande stattfand. Dies geschah zu Cragside, Northumberland, im Jahre 1882 [2]). Deutschland, das die technische Möglichkeit der Kraftübertragung im Jahre 1880 nachgewiesen hatte und späterhin (1891) auch diese Möglichkeit für weite Strecken erprobte (Abschn. III D), kann es sich wenigstens zur Ehre gereichen lassen, daß bei jenem ersten Unternehmen ein deutscher Siemens-Dynamo Verwendung fand. Die Fernleitungsstrecke betrug 1 englische Meile, die übertragene Kraft 8 PS.

In England hat dann die Wasserkraftausnutzung sich im ganzen nur wenig entwickelt. Mitunter ist die Wasserkraft zur Ergänzung von Dampfanlagen herangezogen worden. Das Inselreich ist groß an kleinen Kraftwerken, aber beschränkt in der Möglichkeit zur Anlage großer Werke. Das Mißtrauen gegen die Unzulänglichkeit der hydraulischen Kräfte, sowie gegen das Betreten neuer Bahnen überhaupt sieht Ristori [3]) als den Grund der Verzögerung an. Dazu kommt der billige Preis der Kohle. Bemerkenswert in letzterer Hinsicht ist jedoch, daß auch nach seiner Ansicht elektrische Kraft aus den Wasserkräften unter beträchtlich geringeren Kosten gewonnen werden kann als durch Dampfkraft, selbst wenn die Dampfanlagen unter den günstigsten Bedingungen arbeiten.

Neuerdings jedoch ist die hydro-elektrische Kraftausnutzung in England, besonders in Schottland und Wales, lebhafter in Aufnahme gekommen. Und dabei hat sich gezeigt, daß größere Kräfte erschlossen werden können, als man je dachte. Vor allem müssen nach Ristoris Meinung auch in England Becken mit großen Fassungsräumen für den Wasserausgleich gebaut werden. Im Oberlaufe der Flüsse

1) Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1905.
2) Nach Eng. Rec. 1904.
3) Engineering 1904.

Derwent und Ashop sind Talsperren von 46 Mill. cbm Gesamtstauinhalt mit Sperrmauern von 29 bis 42 m Höhe geplant. Über die Art der Ausnutzung lassen sich im übrigen hier, wie überall, keine allgemeinenen Regeln aufstellen, jeder Fall muß für sich nach seinen örtlichen Umständen untersucht werden. Dabei verschließt man sich nicht der Erkenntnis des Vorteils, der in dem großen Wasserreichtum im Winter liegt, wo viel elektrisches Licht gebraucht wird. Man ist sich im übrigen auch darüber klar, daß die Zinsen des Anlagekapitals einen wesentlich größeren Anteil an den Erzeugungskosten haben als die unmittelbaren Betriebskosten.

Von bemerkenswerten neueren englischen Wasserkraftanlagen ist zu erwähnen das Werk der Britischen Aluminiumgesellschaft zu Foyers vom Jahre 1896 mit einer Gesamtstärke von 9000 PS. Dieselbe Gesellschaft hat vom Parlament die Genehmigung für eine 17000 PS.-Anlage am Loch Leven erhalten, wo eine Druckhöhe von 290 m ausgenutzt werden soll. Ein anderes interessantes Unternehmen hat die Nord-Wales-Kraftgesellschaft in Wales ins Leben gerufen. Es sind hier 8200 PS. bei einer Gefällhöhe von 345 m aufgeschlossen worden. Der neueste Plan ist der des schottischen Wasserkraftsyndikates für Errichtung eines Werkes von 6000 PS. mit etwa 210 m Gefällhöhe bei Invernglas in Schottland. Alle diese Kraftanlagen sind verbunden mit meist künstlichen, durch Erddämme gebildeten Staubecken, die den Kraftwasserbedarf für 50—150 Tage der Trockenheit aufzuspeichern vermögen. Die elektrische Energie wird in chemischen Fabriken an Ort und Stelle gebraucht oder über Land geleitet zum Betriebe von Kleinbahnen, zu Kraftzwecken in Steinbrüchen oder nach gewerblichen Ortschaften. Die Fernleitung findet bis etwa 40 km weit statt, dabei werden Ströme bis fast 40000 Volt Spannung verwendet.

Die Anlagekosten des Invernglas-Werkes für 1 PS. ergaben sich zu 800 Mk. einschl. der Übertragungskosten, ein Preis, der gegenüber den bei Dampfanlagen entstehenden Kosten nicht zu hoch erscheint. Die Fernübertragungskosten waren 12 v. H. der Gesamtkosten. Zu beachten ist, daß bei diesen Aufrechnungen der Gesamtverlust durch die Fernübertragung nur zu 13 v. H. angenommen ist.

Die jährliche Aufwendung für Zinsen, Tilgung, Unterhaltung und laufende Betriebskosten werden bei englischen Anlagen zu etwa 12 v. H. angenommen. Demnach darf das angelegte Kapital nicht größer sein als

etwa das $8\frac{1}{2}$ fache der jährlich zu erwartenden Einnahme. Wenn also z. B. der Preis einer Jahrespferdekraft bei einer 5000 PS.-Anlage 120 Mk. beträgt, so dürfen die Baukosten für 1 PS. nicht mehr als $120 \cdot 8{,}5 = 1020$ Mk., und im ganzen nicht mehr als $1020 \cdot 5000 = 5\,100\,000$ Mk. ergeben. Tab. 78 giebt eine Übersicht der öffentlichen Elektrizitätswerke in England nach dem Stande der Jahre 1905/06.

Die Wasserkraftfrage gewinnt somit auch in England mehr und mehr an Boden [1]). Man wird sich klar darüber, daß der Verbrauch der Kohle nicht dem Leben von Zinsen, sondern dem Aufzehren von Kapital gleichkommt, während die Nutzbarmachung der Wasserkräfte die Erschließung

Tabelle 78.

Statistik der öffentlichen Elektrizitätswerke in England.[2])

Betriebskraft	Anzahl der Werke		Leistung in PS.		Bemerkungen
	1906	1905	1906	1905	
Dampf	363	342	633 570	595 760	Durchschnittl. Verzinsung des angelegten Kapitals 8 v. H.
Wasser	4	4	1 800	1 800	
Gas	25	14	6 700	2 000	
Elektromotoren . .	6	4	900	750	
Dampf u. Wasser .	5	5	1 200	1 200	*) In städt. und gemeindl. Besitz 269.
Gas u. Wasser . .	2	2	400	400	
Gas u. Dampf . .	8	7	2 600	2 000	Im Besitz v. Betriebsgesellschaften 154.
Dieselmotoren . .	10	4	5 200	2 600	
	423*)	384	651 570	606 510	

einer unerschöpfbaren Kraftquelle bedeutet. Und diese Erkenntnis wird umso notwendiger, als die neuesten Untersuchungen einer staatlichen Kommission ergeben haben, daß der Kohlenvorrat von Großbritannien und Irland bis zu der gegenwärtig praktisch nutzbaren Abbautiefe von 1200 m den Bedarf an Kohlen bei jährlich 250 Mill. t, wie schon oben bemerkt, nur noch auf etwa 400 Jahre decken kann. Der gegenwärtige Kohlenverbrauch ist allerdings noch geringer und wird zu 160 Mill. t. (1903) angegeben.

Doch scheint es, daß die Wasserkräfte Großbritanniens im Verhältnis zum Kohlenverbrauch keine allzugroße Ausbeute liefern werden, wenn die Schätzung von Professor Forbes zutreffend ist. Dieser berechnet

1) Über die Niederschlagsverhältnisse in England s. R. Mill, British Rainfall. London 1905.

2) E. Z. 1906. S. 1024.

den gesamten Gleichwert an Kohlen, welcher jährlich durch die Nutzbarmachung der Wasserkräfte seines Landes geschaffen werden könnte, zu 1,2 Mill. t jährlich [1]).

Auch in England, wie in den andern hier besprochenen Ländern tritt der soziale Gedanke der Kraftverteilung für das Kleingewerbe in den Vordergrund des öffentlichen Interesses. Der Elektroingenieur Crompton bezeichnet ein gutes System der Kraftverteilung als eine Aufgabe, deren Lösung den tiefsten Einfluß auf das Wohlbefinden der Arbeiter haben wird. Die Bevölkerung, die heute in große Fabriken eingepfercht wird, kann auf das Land zurückgeschickt werden. Man ist in dieser Hinsicht nach seiner Meinung in England am Ende des Könnens. Ein großer Teil der Gewerbe könne in die kleinen Werkstätten verlegt werden, wo unter freundlichen Lebensbedingungen, in Licht und Sonnenschein, im eignen Hause der Arbeiter, unterstützt von Familienmitgliedern, sein Tagewerk verrichten kann. Hier liegt nach Cromptons Ansicht ein besonderes Feld für die Verwertung der Wasserkräfte. Und man verschließt sich in England wie in Amerika nicht der Erkenntnis, daß die Schweiz, Frankreich und Deutschland nach dieser Richtung einen Vorsprung haben und hält die Wirkungen eines solchen Vorgehens für die Gesundheit und das Wohlergehen der Bevölkerung für so bedeutende, daß auch im eignen Lande diese Frage die sorgfältigste Beachtung der besten Männer verdient [2]).

Die englischen Ingenieure finden neuerdings ein gutes Feld ihrer Betätigung in den englischen Kolonien. So wird u. a. in der englischen Fachpresse mit Befriedigung hervorgehoben, daß die wichtige hydroelektrische Hochspannungsanlage bei Wellington in Indien für eine Pulverfabrik (1000 PS.) lediglich von englischen Ingenieuren eingerichtet ist [3]). Das Gefälle beträgt 190 m. Die elektrische Übertragung nach der Fabrik ist 7 km lang. Mit der Anlage ist ein Staubecken von 230000 cbm verbunden [4]). Des reichen Arbeitsfeldes, das sich den englischen Ingenieuren in Ostindien bietet, ist auch in Abschn. V, 1 gedacht worden [5]).

1) Engineering 1905 S. 155.
2) Engineering 1905 S. 489.
3) The Engineer 1905 S. 314.
4) The Engineer 1907 S. 143.
5) Einen kurzen Überblick in Form eines Jahresbuches über den Fortschritt in der Ausnutzung der Wasserkräfte bringt in der Regel die Zeitschrift »The Engineer« in einem der Januarhefte.

G. Amerika.

Nord-Amerika — heute das Land der großen Unternehmungen auf allen Gebieten des Lebens — zeigt auch in der Wasserkraftausnutzung eine außerordentliche Entwicklung. Die amerikanische Wasserwirtschaft steht damit in einem gewissen Gegensatz zu der deutschen. In Deutschland war der Ausgangspunkt der neueren wasserwirtschaftlichen Bestrebungen um die Mitte des vorigen Jahrhunderts die Förderung der Schiffahrt, in Amerika steht die Kraftgewinnung aus dem Wasserreichtum des Landes obenan. Bei uns begannen die Arbeiten zur Vervollkommnung der natürlich gegebenen Verhältnisse im Mündungsgebiet der Ströme und in den von Natur an sich der Schiffahrt zugänglichen unteren Flußläufen und waren auf die Vermehrung der Fahrtiefen und Verbesserung der Schiffahrtseinrichtungen gerichtet, in Amerika jedoch setzte die Kunst des Ingenieurs im Quellgebiet der Wasserläufe ein und schuf in den Wasserkraftwerken unmittelbar nutzbare Werte: In Deutschland stehen also die Maßnahmen, welche in den staatswirtschaftlichen Erträgen der Transportverbilligung ihre Berechtigung finden, voran; in Amerika bilden die Triebfeder die privatwirtschaftlichen Interessen der Einzelunternehmung. Aber wie bei uns sich neuerdings die Aufmerksamkeit des Ingenieurs der Wasserwirtschaft im Gebirge zugewendet hat, so sehen wir, wie Amerika stromabwärts schreitet zur Regulierung und Verbesserungen des Unterlaufes der Ströme, in ähnlicher Weise wie dies unsere ausgebauten Schiffahrtsstraßen bekunden.

Die amerikanischen Wasserkraftverhältnisse.

Nordamerika hat für die Wasserkraftausnutzung großartige Verhältnisse. Es soll bei diesen Worten nicht lediglich an die wohl einzig in der Welt dastehenden Wasserkräfte des Niagara gedacht sein, die auf 5 Mill. Pferdestärken berechnet werden, auch nicht nur an den Shawiniganfall bei Quebek, wo das Wasser des St. Mauriceflusses 43 m herabstürzt und 100000 PS. liefert, und sonstige außergewöhnliche Naturerscheinungen des amerikanischen Kontinents. Es sind, wie dies die in neuerer Zeit ausgeführten Anlagen dartun, günstige Bedingungen überall vorhanden — Wasser und Gefälle steht in reichlichem Maße zur Verfügung. Dazu kommt ein verhältnismäßig guter Ausgleich der

Wasserführung in den aus hohen Gebirgsketten — dem Bezirk der weißen Kohle — gespeisten Flüssen, und wo diese Gleichmäßigkeit fehlt, passende Geländeverhältnisse für die Schaffung eines künstlichen Ausgleichs durch Herrichtung großer Stauweiher. Es seien von den vielen Beispielen nur erwähnt die Talsperre am Crotonflusse, die für die Wasserversorgung der Stadt New York 114 Mill. cbm aufspeichert und deren Erweiterung durch die Errichtung eines zweiten Beckens von 260 Mill. cbm Stauinhalt im Esopustale beabsichtigt wird. Weiterhin ist hervorzuheben das geplante Staubecken am Salt River im nordamerikanischen Staate Arizona, das einen Aufspeicherungsraum von mehr als

Tabelle 79. Neuerrichtete bezw. geplante Sammelbecken von großem Stauinhalt in Nordamerika.[1])

	Bewässerungszwecke			Wasserversorgung	
	Roosevelt (am Salzfluß in Arizona)	Pathfinder (Wyoming)	Shoshone (Wyoming)	New Croton (New York)	Wachusett (Mass.)
Kronenlänge . . . . . m	195	68	53	350	255
Höhe über Gründungssohle m	84	63	92,5	89	62
Größte Stauhöhe . . . . m	69	57	72	47	56
Sohlenbreite . . . . . m	47,5	28	32,5	62	55,5
Kronenstärke . . . . . m	5,0	3,0	3,0	5,4	7,5
Mauerwerk . . . . . cbm	262 500	40 000	52 000	625 000	210 000
Stauinhalt . . . Mill. cbm	1730	1234	563	114	238
Kosten der Sperrmauer Mill. Mk.	16,2	4,2	4,2	32,0	8,4
Kosten für 1 cbm Stauraum Pf.	0,94	0,34	0,74	28	3,6

1700 Mill. cbm haben soll, also mehr als das bekannte Becken im Nil bei Assuan. Diese Anlage wird zugleich Bewässerungs- und Kraftzwecken dienen. Eine Übersicht über neu eingerichtete bzw. geplante Becken in Nordamerika gibt Tab. 79.

Ein bedeutendes Sammelbeckenunternehmen beschäftigt gegenwärtig die nordamerikanische Regierung in Verbindung mit dem Panamakanal. Um von diesem die Fluten des Chagres-Flusses, der bei Hochwasser 300 cbm führt, fernzuhalten, soll dieser Fluß wenig nördlich vom Kanal durch eine Talsperre von 60 m Höhe abgesperrt und dadurch ein Staubecken von 460 Mill. cbm Fassungsraum geschaffen werden. Die

1) Engineering News 10. 5. 1906.

Talsperre wird aus den Massen des Culebra-Einschnittes geschüttet werden. Bemerkenswert ist bei dieser Anlage, daß für die Hochwasserentlastung des Beckens zwei Tunnel von 5,4 bzw. 12,3 km Länge nach anderen Flußgebieten als Überläufe hergestellt werden sollen, die die überschüssigen Wassermengen dem Stillen Ozean und dem Karaibischen Meer zuführen. Es ist beabsichtigt, mit dem Becken eine Kraftanlage zu verbinden [1]).

Im Zusammenhange von Ursache und Wirkung mit diesen günstigen natürlichen Verhältnissen steht der frische Unternehmungsgeist des amerikanischen Ingenieurs und sein Wagemut zu großzügigem Schaffen. Er lebt mit seinen kühn vorwärts strebenden Plänen heute gleichsam in der Sturm- und Drangperiode der Jugend. Die Aufnahmefähigkeit des Landes, die immer neue Möglichkeiten zur vorteilhaften Verwirklichung hochgehender Gedanken bietet, reißt ihn und das Kapital zu großen Aufgaben fort. Dem amerikanischen Ingenieur gilt weniger das Überlegen und Erwägen des höchst erzielbaren Gewinnes, als das schnelle Schaffen und Entstehen. Er wendet seine Aufmerksamkeit mehr der Gestaltung der Bauausführungen und den konstruktiven Anordnungen als dem peinlichen Ausklügeln bei den Vorarbeiten zu, die dessen ungeachtet immer gebührend beachtet werden. Er erfaßt die großen Werte und läßt Kleines leichten Herzens ungenutzt dahin gehen. Es sieht das etwas nach Raubwirtschaft aus und wird sich dereinst als solche sicherlich auch fühlbar machen. Dereinst — in langen, langen Jahren —, wenn auch in seinem Lande der Sättigungsgrad erreicht sein wird, und wenn dort eine ruhige Entwicklung Platz greifen wird. Heute aber ist Amerika das Land der »unbegrenzten Möglichkeiten« auch auf dem Gebiet der Wasserwirtschaft. Dieser Zustand und diese Auffassung spiegelt sich in allen Ingenieurausführungen und in der amerikanischen Literatur wieder und macht das Studium des amerikanischen Schriftlebens interessant.

Bezeichnend für die Lebhaftigkeit und den weitausschauenden Blick, mit dem die Amerikaner heute an die Wasserkraftausnutzung herangehen, ist die Äußerung eines Ingenieurs in der Zeitschrift des westamerikanischen Zivilingenieur-Vereins, indem er schreibt: »Bei dem gegenwärtigen Fortschritt der Ingenieurtechnik richten wir, wenn wir an einem

1) The Engin. Magazine, Dez. 1905.

schönen Wasserfalle vorüberkommen, obgleich unser erster Gedanke sein sollte, ihn vom künstlerischen Standpunkt anzuschauen als eine der größten Naturschönheiten, unsere Überlegung gelassen auf die wirtschaftliche Seite und überfliegen in Gedanken, wieviel Tonnen Kohlen die Ausnutzung des Stromes jährlich ersparen und so den Tag hinausschieben wird, an dem einst unsere prächtigen Kohlenfelder erschöpft sein werden.«

Welche kühnen Pläne amerikanische Ingenieure verfolgen, geht auch aus einem schwebenden Projekt für die Wasserversorgung von Los Angeles hervor, einer Stadt in Kalifornien mit 250000 Einwohnern. Es ist dort geplant, das Versorgungswasser auf 458 km aus den Regionen des Ewigen Schnees der Sierra (1163 m hoch) heranzuschaffen, teils in offener Zuleitung, teils in Tunneln und Rohrleitungen. Mit dieser Wasserführung im Zusammenhange sind 2 Staubecken mit einem Gesamtfassungsraum von 320 Mill. cbm geplant. Neben der Wasserversorgung soll das aufgespeicherte Wasser auch Bewässerungszwecken dienen und überdieß plant man das Wasser an 3 Stellen für Kraftgewinnung nutzbar zu machen. Von Los Angeles nur 60 km entfernt können 49000 PS. erschlossen und dorthin elektrisch übertragen werden. Die Kosten des Gesamtunternehmens sind zu 103 Mill. Mark veranschlagt. Es darf nicht wundernehmen, wenn dies so vielseitig nutzenversprechende Projekt, dem technische Schwierigkeiten nicht entgegen stehen sollen, die lebhafte Befürwortung in den beteiligten Kreisen findet [1]).

Der Osten Nordamerikas ist reich an großen Abflußmengen, im Westen finden sich in den Gebirgsketten außerordentlich hohe Gefälle. Im Osten sind die reichen und günstig förderbaren Kohlenvorräte als mächtiger wirtschaftlicher Gegner vorhanden, den kohlenarmen Bezirken von Kalifornien und Mexiko ersetzen die »weiße« und »grüne« Kohle den Kraftbedarf. In diesen Bezirken ist heute vor allem die Wasserkraftausnutzung im Gange. Zwei Gegensätze bilden gleichsam das Kraftwerk Sault St. Marie im Staate Michigan mit 900 cbm/sek. Wasserverbrauch — wohl die bisher größte einem Werke zugeführte Wassermenge (Gefälle 6 m) — und die hohen Gefälle der Westküste, wo mit 1 Liter Wasser sechs und mehr Pferdestärken erzeugt werden. Bemerkenswert ist auch die vielfach hohe Lage der Kraftwerke. So liegen z. B. die

1) Le Génie Civil 16. 2. 07.

Einzugsgebiete des Volta- und Kilarc-Werkes (Kalifornien) in 1500 bis 2100 m über Meereshöhe.

Eingehend sind in neuerer Zeit die Wasserkraftverhältnisse des südöstlichen Teiles der Vereinigten Staaten untersucht worden — in den Staaten Virginia, Nord- und Südcarolina, Georgia und Alabama — und haben zu nicht ungünstigem Ergebnis geführt. Die Niederschlagshöhen schwanken hier zwischen 1000 und 1500 mm im Jahr und in den Gebirgszügen können hohe Nutzgefälle erschlossen und Staubecken geschaffen werden. Für die Verwertung der Wasserkräfte verspricht die Industrie benachbarter Bezirke günstigen Absatz, so daß kostspielige weite Übertragungen nicht nötig werden [1]).

Nach statistischer Aufzeichnung wuchs die Wasserkraftverwertung in den Vereinigten Staaten von Nordamerika von 1263000 PS. im Jahre 1890 auf eine Leistung von 1727000 PS. im Jahre 1900. Man schätzt die Nutzung für das Jahr 1910 auf 2½ Mill. PS.

Den hydrographischen Dienst in den Vereinigten Staaten besorgt eine Abteilung der »U. S. Geological Survey«. Dieser Dienst erstreckt sich auf die Messungen und Beobachtungen an den Strömen, wofür z. Z. 100 Stationen eingerichtet sind. Außerdem aber werden von dieser Abteilung eingehende Untersuchungen über Grundwasserverhältnisse und Vorarbeiten für Wasserversorgungen, Verunreinigung der Gewässer und sonstige wasserwirtschaftliche Verhältnisse, besonders auch um Unterlagen für Landbewässerungen zu erhalten, ausgeführt. Die Ergebnisse dieser Ermittlungen werden in besonderen Zeitschriften schnellstens der Öffentlichkeit unterbreitet [2]).

Auch in Südamerika setzt gegenwärtig eine lebhafte Bewegung ein, die darauf hinausgeht, das kohlenarme Land durch die Erschließung von Wasserkräften von den hohen Kohlenpreisen unabhängig zu machen. Es wird berichtet, daß sich dieses Land wie kaum ein anderes zur Erzeugung elektrischer Energie durch Wasserkraft und zu ihrer Fernverwertung eignet. Beinahe Dreiviertel von Südamerika besteht aus tiefen Tälern, Hochebenen und Gebirgsketten, und es ist darum wohl anzunehmen, daß sich hier auch ohne Kohlenlager ein bedeutendes gewerbliches Leben aus den Wasserkräften entwickeln kann. Es soll sich schon heute eine förmliche Umwälzung in der Verwendbarkeit der Elektrizität

1) The Engin. Mag. Okt. 1905.
2) Eng. News 6. 12. 06. S. 599 und österr. Wochenschrift f. d. öff. Baud. 1907 S. 8.

für gewerbliche Zwecke vollziehen. Deutsches Geld ist dabei lebhaft beschäftigt. Als die bedeutendsten Arbeitsfelder sind Argentinien und Brasilien zu bezeichnen [1]).

Von bemerkenswerteren Unternehmungen seien nur erwähnt ein in der Ausführung begriffenes Kraftwerk am Lages-Fluß zur Licht- und Kraftversorgung von Rio de Janeiro und zum Antrieb von Straßenbahnen. Es wird hier eine Talsperre von 220 Mill. cbm Stauinhalt errichtet, durch deren wasserausgleichende Wirkung es möglich ist, eine Kraft von 120000 PS. bei 306 m Gefällnutzung zu erschließen. Das Werk wird vorläufig für 50000 PS. ausgebaut und die Kraft nach Rio de Janeiro auf 80 km mit 40000 Volt, deren Erhöhung bis auf 80000 V. in Aussicht genommen ist, übertragen [2]).

In Argentinien ist das Flußsystem des Parana ein Gebiet zunehmender Wasserkraftnutzung. In einer Gefällstrecke des Primero-Flusses beim Gebirgsdurchbruch unterhalb der Talsperre von San Roque (260 Mill. cbm Stauinhalt) sind mehrere ansehnliche Kraftwerke erbaut für die Kraft- und Lichtversorgung von Córdoba und andere, im wesentlichen elektrochemische Zwecke. Am Rio II und III desselben Flußsystems sind geeignete Täler vorhanden, um ansehnliche Becken bis 350 Mill. cbm Inhalt zu stauen. Die Wasserkraftnutzung hat hier erhöhte Bedeutung, weil eben alle Kohlen über See eingeführt werden müssen. Deutscher Kolonisation und deutschen geschäftlichen Unternehmungen bietet sich hier unter gesunden klimatischen Verhältnissen ein großes Wirtschaftsgebiet zur vorteilhaften Betätigung [3]).

Gegenwärtig plant man die industrielle Ausnutzung des Titicacasees, der 3800 m über dem Meeresspiegel liegt und wohl der höchste schiffbare See der Welt ist. Dieser See soll als Kraftquelle für die südlichen Eisenbahnen Perus erschlossen werden. Die Landwirtschaft, der Bergwerksbetrieb und vielleicht auch elektrischer Schiffahrtsbetrieb soll ebenfalls mit der erzeugten Energie versorgt werden. (Siehe S. 232.)

Neuere amerikanische Wasserkraftunternehmungen.

In noch stärkerem Maße wie bei den europäischen Kraftanlagen findet man in Nordamerika die Konzentrierung hoher Gefälle durch lange

1) Elektr. Zeitschr. 1905.
2) The Engineer 25. 10. 1907.
3) Weiteres siehe Zentralbl. d. Bauverw. 1907 S. 471.

Tabelle 80. Elektrische Kraftübertragungsanlagen in Kalifornien.[1])

Name	Jahr der Errichtung	KW.	PS. 1 PS. = 0,736 KW.	Gefälle m	Übertragung km	Spannung Volt	Bemerkungen
Pomona	1893	—	—	120	46	10 000	Kleinere Anlagen von einigen 100 PS.
Redlands	1893	—	—	113	12	11 000	
Bodie	1893	—	—	105	18	3 500	
Angels Camp	1895	–	—	171	13	16 500	
Folsom	1895	—	1 200	16,5	34	11 000	
Nevada County	1896	—	2 000	62	13	5 500	
San Joaquin	1896	1 360	—	424	110	19 500	
Big Creek	1896	—	500	277	24	11 000	
Newcastle	1896	—	1 000 bzw. 680	136 bzw. 66	55	15 000	Die Anlage umfaßt 20 Staubecken im Hochgebirge und 720 km Zuleitungsgerinne und Kanäle. Die beiden Kraftwerke sind parallel geschaltet.
Bakersfield	1897	—	1 500	61	39	11 500	Mit 11 Staubecken im Hochgebirge.
Blue Lakes	1897	—	—	313	24	11 000	
Browns Valley	1898	—	2 000	90	30	16 700	
San Gabriel	1898	—	2 000	240	37	16 500	10 km Zuführungskanal; davon zwei Drittel in Tunneln, ein Drittel Holzrohrleitung. Tangentialräder. Am Verwendungsort (Los Angeles) Dampfaushilfe.
Santa Ana	1899	6 000	—	220	133	33 000	Wasserzuführung hat 18 Tunnel und 16 offene Strecken. Tangential-Räder. Zur Zeit des Baues höchste Spannung und größte Übertragungslänge "in the world".
Mount Whitney	1899	1 350	—	390	67	17 300	Tangentialräder. 8 km lange Zuleitung.
Mill Creek Nr. 2	1899	500	—	187	37	11 500	Verbunden mit Mill Creek Nr. 3.

Name	Jahr der Errichtung	KW.	PS. 1 PS. = 0,736 KW.	Gefälle m	Übertragung km	Spannung Volt	Bemerkungen
Truckee-Fluß . .	1900	—	2 000	25	53	22 000	
Colgate	1901	9 450	--	210	224	40 000	Diese Fernleitung hat freie Spannweiten bis 1270 m, "the longest in the world". Spannung soll auf 60000 Volt erhöht werden.
Volta	1901	—	3 000	361	159	22 000	Kupferminen- und Städteversorgung. 1903 die Cow Creek-Anlage mit 4000 PS. zur Verstärkung (360 m Gefälle).
Electra	1902	10 000	—	440	246	55 000	Die Kraft wird nach San Francisco geleitet.
Kleiner Bear-Fluß	1902	1 000	—	198	98	16 000	Verbunden mit einem Ausgleichweiher von 60000 cbm Fassungsraum. 1600 m lange Druckleitung.
Ontario	1902	—	1 500	210	24	16 000	
Mill Creek Nr. 3 .	1903	—	1 500	588	120	33 000	Das höchste in Kalifornien ausgenutzte Gefälle.
De Sabla . . .	nach 1900	9 000	—	468	400, zeitweise bis 600	60 000	Eins der Tangentialräder liefert 8000 PS., verbunden mit 5500 KW.-Generator. Übertragung nach San Francisco.
American-Fluß .	1904	3 000	—	173	128	60 000	11 km lange Zuleitung in offenem Gerinne.
Kilarc	1904	—	7 500	360	200	22 500	Mit dem Voltawerk vereinigt. Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1904.
Kern-Fluß (Los Angeles). . .	nach 1900	—	30 000	72 bis 390, im ganzen 1800	186	66 000	Vereinigt mit den Santa Ana- und Mill Creek-Anlagen. Die Gesamtanlage der Edison Electric Co. zu Los Angeles umfaßt 7 Bezirke. Es sind zurzeit 4 Wasserkraftwerke und 3 Dampfkraftanlagen vorhanden. 3 Wasserkraftwerke gehen der Fertigstellung entgegen, 7 weitere sind geplant. Mehr als 20 Städte und Gemeinden werden mit Licht und Kraft versorgt. Verteilungsnetz 960 km lang. Eng. Rec. 1905 u. 10. 8. 1907.
Bishop Creek . .	nach 1900	—	2 600	326	192	60 000	Für Licht- und Kraftzwecke in den Goldfeldern von Nevada. Aluminiumleitung. Le Génie Civil 1905.

1) Nach Journal of the Association of Engineering Societies, März 1905.

Wasserführungen in offenen Kanälen oder in Tunneln, die dann in einem steilen Abfall in geschlossenen Rohrleitungen ihren Abschluß finden. Nach den unerfreulichen Erfahrungen bei der Kraftanlage zu Bakersfield, wo öfters Betriebsstörungen in der Wasserzuführung durch Bergrutsche veranlaßt wurden, sind die amerikanischen Ingenieure im allgemeinen gegen die offenen Gerinne als Zubringer zu den Kraftwerken und geben den Tunnelzuführungen den Vorzug. Die offen Zuleitungen liegen teils im Gelände, vielfach aber in hölzernen Gerinnen (flumes), die über Gebirgsschluchten auf oft hohen Viadukten hinweggeführt werden. Die Druckleitungen für niedere Gefälle werden bisweilen aus Holz oder Eisenbeton hergestellt, für hohen Druck dagegen verwendet man schmiedeeiserne, meist genietete, neuerdings aber auch geschweißte Rohre.

Wenn einerseits die vorstehend geschilderten Eigenschaften das nordamerikanische Wasserkraftwesen kennzeichnen, so tut dies nicht minder die außerordentlich weite Übertragung, die mitunter selbst bei verhältnismäßig nicht großen Kräften stattfindet. Es ist naturgemäß, daß solche Entfernungen sehr hohe Spannungen erfordern. In dieser Hinsicht dürfen heute als die Grenze die Versuche der Licht- und Kraftgesellschaft der Stadt Los Angeles gelten, die sich auf 80000 Volt bei 26 km Entfernung erstreckten. Infolge der dabei erzielten günstigen Ergebnisse beschloß man, die Übertragungsspannung, die vom Kernriver am Fuße der Sierra Madre auf 200 km 40000 Volt betrug, auf 66000 Volt zu erhöhen. Diese Übertragungen erfolgen mittels Freileitungen. Die vorstehende Tabelle 80 ist eine Zusammenstellung der bemerkenswerten Kraftübertragungen der Westküste. Die großen Entfernungen ergeben sich aus der Nutzbarmachung der in den hohen Gebirgen gewonnenen Wasserkräfte in den Verbrauchsorten an der Seeküste. Die Spitze führt das Kraftwerk de Sabla.

Die Tabellen 81 u. 82 sollen versuchen, ein Bild von der Entwicklung des Wasserkraftwesens des übrigen Nord- und Mittelamerika zu geben. Es finden sich in der Tabelle Angaben über Wasserkraftwerke, die in den letzten Jahren erbaut und in Betrieb genommen wurden, wenn schon die Aufzeichnungen auf Vollständigkeit keinen Anspruch erheben wollen. Die meist mitgeteilte Quellenangabe wird das weitere Studium erleichtern. Denn die Anordnungen dieser amerikanischen Werke bieten eine Fülle technischer Einzelheiten und Eigenartigkeiten und dem Ingenieur eine Fundgrube vielseitiger Anregungen, und zwar um so mehr, als die Bau-

Tabelle 81. Neuere Wasserkraftanlagen in Amerika.

Kraftanlage	Gefälle m	Leistungsfähigkeit PS.	Verwendung	Bemerkungen
Spier-Wasserfall (Hudson) . . .	24	50 000	Überlandzentrale mit 30000 V. Spannung auf 70 km.	Kosten 8,4 Mill. Mk. Engineer 1904. Scientific American 1903 S. 136. — Mit 550 m langem Staudamm von 47,5 m Höhe.
Columbus (Georgia)	10	25 000	Elektr. Licht. Antrieb einer Mühle.	Mit 330 m langer Staumauer aus Beton. Eng. Rec. 1904 I S. 64.
Twin-Branch (Nord-Indiana) .	—	12 000	Für kaufmännische u. industrielle Unternehmungen.	Es werden weitere Kraftwerke am St. Joseph-Fluß geplant, die die gewonnene Kraft elektrisch in die Umgegend übertragen sollen. Eng. Rec. 1904 I S. 95.
Garvin's Fall . .	7,5—9	3000–6000	Für Licht, Kraft und Bahnbetrieb. Kraftübertragung auf 20 km mit 12000V. nach Manchester.	Mit Stauwerk von 140 m Länge. Das Kraftwerk befindet sich in einem Schifffahrtskanal, der neben dem Merrimac-Fluß hergestellt ist.
Power-Company in Richmond .	—	10 000	Elektrische Energie.	Wasserkraft schwankt zwischen 640 und 8850 PS. Ergänzung durch Dampfanlage. Eng. Rec. 1904 I S. 11.
Cataroba-Fluß bei Rock-Hill, S. C.	—	6000–7600	Überlandzentrale für Städte u. andere Ortschaften. Fernleitg. bis auf 30 km.	Mit Staudamm (Erdschüttung mit Mauerkern). Eng. Rec. 1904.
NewMilford (Connecticut) . . .	35	10 500	Überlandzentrale mit 33500 V. Spannung.	Mit 3 km langem Betriebskanal. Eng. Rec. 1904.
Dan-Fluß . . .	—	4 500	Webereibetrieb. Elektr. Übertragung.	Mit neu entstandener Kolonie. Eng. Rec. 1904.
Puyallup-Fluß (Washington) .	265	20 000	Fernleitung mit 55000 Volt auf 40 u. 75 km nach den Städten Tacoma u. Seattle für Kraft, Licht u. Bahnbetrieb.	Das Werk kann auf die doppelte Leistung ausgebaut werden. Mit Dampfaushilfe von 13000 PS. Z. d. V. d. Ing. 1905 S. 413. Eng. News 1904. S. Abschn. III C.
St. Maurice-Fluß (Shawiniganfälle bei Quebek) . .	43	22 500	10000 PS. werden nach Montreal auf 135 km mit 50000 V. für Kraftzwecke und Straßenbahnbetrieb übertragen, im übrigen Ausnutzung am Platze u. in der Umgegend.	Die Ausnutzung der Wasserfälle hat dazu geführt, daß im Laufe von 5 Jahren eine Stadt von 5000 Einw. entstanden ist. Die gesamte vorhandene Wasserkraft wird zu 100000 PS. berechnet. Mit 10500 PS.-Turbine u. Generator von 8000 PS. Stärke.

Kraftanlage	Gefälle m	Leistungsfähigkeit PS.	Verwendung	Bemerkungen
Lowell am Spring-Fluß, Kan. . .	7,2	5 000	Überlandzentrale. Fernleitg. auf 45 km nach Blei- u. Zinkbergwerken. 33 000 Volt.	Mit massivem Wehr. Scientific American 1905. J. f. Gasb. u. Wasservers. 1905.
Morgan-Fälle . .	—	14 000	Elektrische Energie.	Atlanta Water and Electric Power Co. Eng. Rec. 1904.
York Haven, Pa. .	—	20 000	—	Eng. Rec. 1904.
Lockport (Entwässerungskanal von Chicago) .	13,5	18 000	Für städtische u. industrielle Zwecke.	Mit Schiffsschleuse (39:6,6 m) im Kanal. Zukünftige Leistung 40 000 PS. Eng. News 1905. Journ. Western Soc. of Eng. 1904. The Engineer 20. 7. 06.
Little Falls (am Mississippi) . .	6,5	10 000	Kraftkleinverteilung.	Spätere Erweiterung auf 17 000 PS. Wasserausgleichung durch aufgestaute Seenbecken im Quellgebiet des Miss.
Guanajuato (Mexiko)	—	8 000	Kraftfernleitung auf 160 km mit 60 000 V. Spannung.	Mit 6,5 km langem Zuleitungskanal von 4 m Sohlenbreite. 1010 m lange Druckleitung, die sich von 1,75 auf 1,45 m verengt. Fernleitung mit langen Spannweiten (135 m). Z. d. V. d. Ing. 1903.
Canyon Ferry am Missouri . . .	—	3 000	Elektrische Energie.	Mit Staudamm. Amer. Soc. of Civ. Eng. Proc. 1903.
Kettle-Fluß bei Cascade, B. C. .	47	6 200	Überlandzentrale für Kraft u. Licht. Fernleitung auf 34 km mit 20 000 V. Spannung.	Mit Damm aus Holzwerk u. Steinpackung, 11 m hoch. Eng. Rec. 1903 I S. 458.
St. John (Neufundland)	56	3 700	—	
Mc Calls Ferry am Susquehanna-Fluß, Pa. . . .	10—12	100 000	Überlandzentrale für Fernleitg. an Städte im Umkreis von 100 km.	Mit Staudamm.
Sault St. Marie (Michigan) . .	6	46 000	Für elektrochemische Zwecke und öffentl. Elektrizitätswerk.	Das Werk hat mit 900 cbm den größten Wasserverbrauch. 80 Turbinen mit je 580 PS. Leistung.
Ontario, Kanada .	78	6 000	Kraft und Licht.	An einem den Niagara umgehenden Kanal gelegen. 2 Turbinen zu je 3000 PS
Chattanooga (Tenn.) . . .	12	56 000	Elektrische Energie.	Fernleitung auf 18 km.

Kraftanlage	Gefälle m	Leistungsfähigkeit PS.	Verwendung	Bemerkungen
Vallecito (Stanislaus-Fluß) . .	425	36 000	Fernleitung nach San Francisco auf 200 km.	3 Peltonräder von je 12 000 PS. Leistung. Alle unter dem Gefälldruck stehenden Maschinenteile sind mit doppeltem Druck (84 at.) geprüft. Eng. News 1907 S. 247.
Duluth (Minn.) .	118	40 000	Kraft- und Lichtversorgung, Hafenbetrieb in Duluth u. Superior. Bergwerksbetrieb.	Ausbau auf 100 000 PS. geplant. Mit Turbineneinheiten von je 13 000 PS. The Engineer 1907 S. 155.
Gore Cañon bei Denver . . .	106	30 000	Es soll ein 128 000 qkm großes Gebiet mit Licht u. Kraft für Bergwerksbetrieb usw. versorgt werden.	Die beiden Werke sind z. Z. im Bau begriffen.
Glenver Springs (Col.)	122	50 000		
Cazadero (Oregon)	33	20 000	Eisenbahnbetrieb. Der Strom wird mit 34 000 V. Spannung auf 65 km nach Portland geleitet.	Es sollen am Clakamas-Flusse entlang eine Reihe von Wasserkräften durch Anlage von Wehren erschlossen werden. 6 Turbinen zu je 3250 PS. im J. 1906 eröffnet. La Revue technique 1905.
Neals Shoals, S. C.	7	7 000	Überlandzentrale.	Aluminiumleitung.
St. Croix, Wisc. .	16,5	24 000	Fernleitung f. gewerbliche Zwecke.	Eng. Rec. März 1906.
Animas-Fluß, Colo.	300	8 000	Fernübertragung mit 50 000 V. auf 40 km.	2 Peltonräder je 4000 PS. Eng. News, Jan. 1906. Mittels Sammelbecken soll die Leistung auf 40 000 PS. gebracht werden.
Necaxa (Mexiko) .	450	40 800	Fernleitung mit 60 000 Volt auf 300 km.	6 Turb. je 6800 PS. El. World 1905. Ausbau auf 80 000 PS. geplant.

ten oft unter schwierigen äußeren Verhältnissen sich vollziehen. In abgelegenen Tälern errichtet, ist besonders die Förderung solcher Baustoffe, die nicht an Ort und Stelle gewonnen werden können, und der Maschinenteile umständlich. Abseits von den Eisenbahnen und selbst von befestigten Straßen muß die Fortschaffung mitunter auf steilen Pfaden auf dem Rücken von Maultieren erfolgen. Die Maschinen werden nach Gewicht und Umfang in viele kleine Teile der Tragfähigkeit dieser

Tabelle 82.

Zusammenstellung von amerikanischen Städten, die mit hydro-elektrischer Kraft von 1000 PS. und mehr Leistung durch Fernübertragung versorgt werden.

Fast alle diese Betriebe sind in den letzten 10 Jahren entstanden.[1])

Stadt	Leistung PS.	Länge der Übertragung km	Einwohnerzahl
Montreal, Can.	46 000	136	267 000
St. Catherin, Can.	8 000	35	—
Hamilton, Can.	8 000	54	—
Port Arthur, Can.	10 000	35	—
Quebec, Can.	3 000	11	—
Toronto, Can.	7 000	130	—
Niagara, N. Y.	55 000	—	—
Buffalo, N. Y.	40 000	36	353 000
Albany, N. Y.	32 000	65	94 000
Massena, N. Y.	35 000	5	—
Hudson, N. Y.	3 000	60	—
Utica, N. Y.	5 400	20	—
Rochester, N. Y.	3 200	90	—
Lewinston, Me.	3 000	32	24 000
Portland, Me.	2 660	20	50 000
Sanford, Me.	2 000	15	—
Manchester, N. H.	5 370	22	—
Concord	1 000	7	—
Montpelier, Vt.	1 670	—	—
Attleboro, Mass.	1 260	—	—
Springfield, Conn.	3 400	10	—
Hartford, Conn.	4 000	18	—
Easton, Pa.	1 500	7	—
Lancaster, Pa.	1 000	—	—
Grand Rapids, Mich.	3 000	65	—
Kalamazoo, Mich.	2 000	32	—
Muskegon, Mich.	1 000	25	—
Jackson, Mich.	1 800	30	—
Cheboygan, Mich.	3 000	10	—
Buchanan, Mich.	2 000	30	—
Sault Ste. Marie, Mich.	46 000	3	—
Minneapolis, Minn.	7 500	16	203 000
St. Paul, Minn.	4 000	40	164 000
Joliet, Ill.	4 500	13	—
Richmond, Va.	12 000	44	—
Petersburg, Va.	3 000	5	—
Fredericksburg, Va.	4 000	5	—
Roanke, Va.	3 000	20	—
Montgomery, Ala.	3 500	48	—
Salem, N. C.	2 000	22	—
Augusta, Ga.	3 600	3	—

1) Nach The Engineering Magazine, Mai 1907; vergl. auch Adams, Electric Transmission of Water Power. S. 8.

Stadt	Leistung PS.	Länge der Übertragung km	Einwohnerzahl
Athens, Ga.	2 200	—	—
Columbia, S. C.	7 000	—	—
Anderson, S. C.	3 000	16	—
Rock Hill, S. C.	4 000	—	—
Salt Lake City, Utah	10 000	60	—
Logan, Utah	2 800	65	—
Butte, Mont.	10 000	104	31 000
Helena, Mont.	12 000	16	10 800
Colorado Springs, Colo.	1 800	40	—
Pocatello, Idaho	1 200	48	—
Seattle, Wash.	8 000	60	81 000
Tacoma, Wash.	1 400	72	—
Spokane, Wash.	6 000	70	—
San Francisco, Cal.	15 000	352	343 000
Sacramento, Cal.	4 000	36	—
Los Angeles, Cal.	10 000	133	102 000
Fresno, Cal.	2 000	90	—

Tiere entsprechend zerlegt, ein Umstand, der schon beim Entwerfen berücksichtigt werden muß. Eine solche eigenartige Ausführung bietet sich dar in der hydro-elektrischen Kraftanlage (5400 PS.) von Bogota, Colombia, einer Stadt, die 2500 m über Meeresspiegel liegt. Bei der Kraftanlage zu Guanajuato (Mexiko) geschah die Aushebung des 6500 m langen Zuleitungskanales von 4 m Sohlenbreite in der Weise, daß der Boden in Säcken gefüllt von den Eingeborenen herausgetragen wurde, wohl weil geeignete maschinelle Fördereinrichtungen fehlten oder teurer gewesen wären. Ebenso hat die Kraftanlage der Cay Moma-Silberbergwerke (Peru), die etwa 5000 m hoch über dem Meeresspiegel errichtet ist, eben wegen dieser hohen Lage im rauhen Gebirge viel Schwierigkeiten im Bau bereitet. Dieses 120 PS. starke Werk darf als die höchstgelegene Kraftanlage der Erde gelten[1]).

Die Nutzleistung der amerikanischen Wasserkraftwerke findet Verwendung für Licht und Kraftzwecke, für den Eisenbahn- und Straßenbahnverkehr[2]) und in ausgedehntem Maße auch in chemischen Gewerben. Die Vergebung zur Nutzbarmachung der natürlichen Wasserkräfte aus dem rohen Wasserabfluß und dem Gefälle erfolgt als ein Rechtstitel,

1) The Engineer 1907 S. 179.

2) Mitteil. über den hydro-elektr. Betrieb von Eisenbahnen in Kanada s. El. Kraftbetr. u. Bahn. 4. 3. 1907.

der dem Unternehmer vom Staate für die Ausnutzung ausgestellt wird, nachdem jener die Rechtsansprüche auf das Eigentum der vorhandenen Rohkraft erworben hat. Dieser Rechtstitel ist auf einen Dritten übertragbar. Die Rechte werden als solche ohne Rücksicht auf die etwaige tatsächliche Gestaltung von vornherein verliehen[1]). Die Bundesregierung übt die Aufsicht über alle schiffbaren Gewässer aus und die Konzessionen werden von dem Kriegs-Departement der Vereinigten Staaten verliehen. Die Politik der Regierung ist der kaufmännischen Verwertung der Wasserkräfte durchaus günstig gesonnen und verlangt nur die gleichzeitige Wahrung der Schiffahrtsinteressen. Die Konzession wird auf ein entsprechendes Ansuchen verliehen[2]). In einigen Staaten unterliegt die Ausführung der Staudämme der staatlichen Aufsicht.

Wasserkraftnutzung in Kalifornien und am Niagarafall.

Auf zwei hervorragende Mittelpunkte des nordamerikanischen Wasserkraftwesens möge hier noch mit wenigen Worten eingegangen werden: auf die Kraftausnutzung in Kalifornien und am Niagara.

Die kalifornischen Anlagen sind durch eine rauhe Entwicklungsperiode zu einer hohen Vollkommenheit gelangt. Die Neigung der Ingenieure geht hier hinaus auf die Konzentrierung großer Kräfte mit grossen Maschineneinheiten. Hohe Pressungen in den Rohrleitungen werden bevorzugt und sehr lange Wasserzuführungen, auch in Tunneln, nicht gescheut. Es wird geschätzt, daß Kalifornien mehr als 8000 km Zuleitungsgräben für Wasserkraftzwecke besitzt, darunter solche bis zu 32 km Länge (Eng. Rec. 7. 4. 06). Fast ausschließlich sind Tangentialräder in Verwendung, die hier zuerst gebaut wurden. Neben den hohen Gefällen sind den kalifornischen Unternehmungen die großen Übertragungsstrecken eigen, deren schon vorhin gedacht ist. Dabei kommen bei Flußüberschreitungen außergewöhnliche Spannungen der Freileitungen vor. Aber eben diese Entfernungen zwischen Gewinnungs- und Verbrauchsort der Kräfte haben sich als der schwächste Punkt der Anlagen erwiesen und der Vervollkommnung des Verteilungsnetzes wird die ganze Aufmerksamkeit der Konstrukteure zugewandt. Man hat versucht, eine grössere Betriebssicherheit dadurch zu erzielen, daß man mehrere Kraft-

1) Eng. Rec. 1905. Über die Wasserrechtsgesetzgebung in Canada und in den Vereinigten Staaten von Nordamerika s. u. a. Glasers Annalen 1907 S. 273.

2) The Engineering Magazine, Mai 1907.

werke zu gemeinsamer Leistung zusammengeschaltet hat, wodurch bei Störungen eine gegenseitige Aushilfe möglich ist, z. B. bei den Kraftanlagen von Los Angeles in Südkalifornien. Nach neueren Untersuchungen sollen die noch erschließbaren Wasserkräfte Kaliforniens die schon ausgebeuteten Kräfte, über die Tabelle 80 einigen Aufschluß gibt, weit übertreffen, und es wird der Wasserkraftnutzung dieses Landes bei der günstigen Marktlage, dem Mangel an Kohlen und dem stets wachsenden Kraftbedarf eine große Entwicklung vorausgesagt[1]). Bei dem letzten großen Erdbeben sollen in San Francisco 40000 PS. an Dampfpferdekräften vernichtet worden sein, deren Ersatz bei dem Wiederaufbau der Stadt durch elektrische Energie sich vollziehen dürfte. Man nimmt daher an, daß für Wasserkräfte sich dort bei der fortschreitenden Entwicklung baldiger Absatz finden wird.

Es ist in Verbindung hiermit interessant festzustellen, daß durch diese Katastrophe keins der bestehenden Wasserkraftwerke in Kalifornien beeinträchtigt wurde.

Die mittlere nutzbar zu machende Leistung des Niagarafalles — eigentlich sind zwei Fälle vorhanden, die durch eine Felseninsel gebildet werden — wird zu 5 Mill. PS. angegeben. Prof. Ayrton[2]) berechnet als Mindestleistung in trockner Zeit 3 Mill. PS. Das Gefälle beträgt rd. 50 m. Die Nutzbarmachung des Wasserfalles für Kraftzwecke begann um das Jahr 1850, setzte aber lebhafter erst mit dem Jahre 1890 ein, wo gelegentlich eines internationalen Wettbewerbes diese Kraftfrage eingehend studiert wurde. Die erste elektrische Zentrale entstand im Jahre 1893. Von da ab begann eine großartige Entwicklung. Die Ausnutzung beträgt heute rd. 550000 PS. Der Niagarafall bildet die Grenze zwischen den Vereinigten Staaten und Kanada und die Kraftanlagen verteilen sich, wie die folgende Tabelle 83 angibt.

Die Verteilungsnetze der amerikanischen und kanadischen Anlagen können durch eine vorhandene Kabelleitung zusammengeschaltet werden, so daß eine erhöhte Sicherheit für den Betrieb bei irgend welchen störenden Vorkommnissen in den Kraftwerken vorhanden ist[3]).

Zwei Arten der hydraulischen Anordnungen sind ausgebildet

1) Journal of the Association of Engineering Societies, März 1905.

2) Eng. News, Sept. 1905.

3) Über die bei Übertragung und Verteilung der Niagarakräfte zur Anwendung gelangten Aluminiumdrähte s. Scient. Amer. März 1906.

worden, um die Niagarafälle auszunutzen. Nach der älteren Art wurde das Wasser oberhalb der Fälle entnommen und in Kanälen oder Rohrleitungen bis zum Unterlauf des Flusses geführt, wo in senkrechten Schächten, die in dem Gestein der Ufer ausgesprengt sind, der Abfall zu den Turbinen stattfindet. Das Krafthaus steht am Fuße des Falles. Nach der zweiten neueren Art, die die charakteristische Form des Niagara darstellt, wird das oberhalb des Falles entnommene Wasser durch senkrechte Schächte von etwa 50 m Tiefe unmittelbar den Turbinen zu-

Tabelle 83. Wasserkraftnutzung am Niagarafall[1]).

	Gesamtleistung PS.	Turbineneinheiten	Bemerkungen
Amerikanische Seite.			
1. Niagara Falls Power Company Krafthaus I . . .	50 400	10 Einh. je 5040 PS.	Die Kraftwerke sind bisher nur zum Teil ausgebaut.
2. » II . . .	60 500	11 » » 5500 »	
Kanadische Seite.			
3. Canadian Niagara Falls Power Company . .	100 000	10 Einh. je 10 000 PS.	Die erteilten Konzessionen beider Seiten sollen sich auf eine Ausnutzung bis 1 340 000 PS. belaufen, d. i. etwa 35 v. H. der Gesamtleistung. Die Genehmigungen sind verliehen an zehn Kraftgesellschaften — vier amerikanische und sechs kanadische — und man berechnet, daß nach ihrer vollen Ausnutzung der amerikanische Fall vernichtet, d.h. trockengelegt sein wird.
4. Toronto and Niagara Power Company . .	137 500	11 » » 12 500 »	
5. The Ontario Power Company of Niagara Falls	205 000	18 » » 11 390 »	

geführt, die tief unten im Felsschacht stehen. Der Wasserabfluß aus den Turbinen findet durch einen Tunnel statt, der unterhalb des Wasserfalles ausmündet.

Die konstruktiven Einrichtungen der Kraftwerke, der Wasserzuführung, der Tunnel und Rohrleitungen, die durch ihre großen Abmessungen von 6 und 7 m und mehr Durchmesser hervortreten, der Turbinen und elektrischen Ausrüstungen und sonstiger hydraulischer Einzelheiten, wo-

1) Zum Teil nach Wagenbach, Turbinenanlagen. Vgl. auch Eng. Record und Engineering News 1903, 1904 bis 1907.

rüber die neueren Jahrgänge amerikanischer Fachzeitschriften[1]) reichliche Mitteilungen bringen, bieten dem Studium des Konstruktionsingenieurs ein weites Feld. Daneben finden sich in den Zeitschriften auch mancherlei Betrachtungen über die wirtschaftliche Bedeutung der Niagarafälle.

Bemerkenswert ist, daß die Entwürfe von allen Turbinen der Niagarakraftwerke, wie Professor Unwin hervorhebt[2]), in der Schweiz oder in Deutschland aufgestellt wurden.

Eine ernste Frage für den Betrieb der Niagara-Kraftwerke ist der Schutz gegen Eisversetzung. Treibeis kommt in ungeheuren Massen wochenlang den Fluß herab von den oberhalb gelegenen Seen. Die Sicherung der Turbinenzuläufe gegen die Zusetzung mit solchem Eis ist bei allen diesen Kraftanlagen eine Aufgabe von sehr großer Schwierigkeit gewesen, und es erfordern die Wintermonate einen fortgesetzten Kampf gegen das Eis[3]).

Bemerkenswert sind die Erörterungen, die neuerdings in den amerikanischen Fachblättern über den Bestand der Niagarafälle gepflogen werden. Aus geschichtlichen Überlieferungen und alten Karten, deren Herstellung zurückreicht bis in das Jahr 1679, wo die ersten Aufzeichnungen des Niagarafalles gemacht wurden, ergibt sich, daß die Überlaufkante des Niagarafalles jährlich etwa 1,50 m nach oberhalb zurücktritt[4]). Der vorhandene Kalksteinfelsen wird durch die abstürzenden Fluten abgeschliffen. In der Zeit des gegenwärtig lebenden Geschlechts will man einen Rückgang von 78 m beobachtet haben. Mit dem weiteren Fortgang dieser Abspülung würde naturgemäß der Bestand der dort errichteten Wasserkraftwerke gefährdet werden. Zwar dürfen sich die gegenwärtigen Inhaber der Werke noch nicht beunruhigt fühlen. Bis dieser Zeitpunkt kommt, werden die Anlagen das aufgewendete Kapital getilgt haben und dann ohne Verlust durch neue Werke ersetzt werden können. Nichts zeigt aber so sehr, wie diese Erscheinung, die Vergänglichkeit unserer irdischen Werke und weist uns darauf hin, unsere Arbeiten und Anordnungen in erster Linie dem gegenwärtigen Zwecke anzupassen, —

1) Engineering Record, Engineering News, The Engineering Magazine, Scientific American u. a. m. In diesen Zeitschriften sind auch viele Beschreibungen von sonstigen amerikanischen Wasserkraftanlagen enthalten.

2) Engineering, Febr. 1906.

3) Eng. News, Nov. 1905.

4) Eng. News 1907 S. 248. Scientific American Supplement 8. 9. 06, 20. 4. 07.

— zwar mit einiger, aber nicht zu weitgreifender Voraussicht in die Zukunft.

Die Niagarafälle bieten ein reiches Bild der mannigfachen Möglichkeiten, die hydro-elektrische Kraftumsetzung zu verwerten. Etwa 60000 PS. finden in der unmittelbaren Nähe meist in elektrochemischen Werken Verwendung. Vor jetzt etwa 10 Jahren wurde die erste elektrochemische Fabrik eröffnet, heute sind die verschiedensten chemischen Betriebe, Holzbereitungs- und Papierfabriken, Schiffsbauanstalten, Fabriken der Eisenindustrie u. a. m. in Tätigkeit. Im übrigen wird die weitere und nähere Umgebung mit Strom für Kraft, Licht und Bahnbetrieb (Neuyork-Zentral-Bahn) versorgt.

Die heutige Kraftausnutzung an den Niagarafällen nimmt das sichtbar abfließende Wasser schon in bedeutendem Maße in Anspruch und mit Sorge erheben sich Stimmen, welche gegen die Ablenkung des Wassers von seinem natürlichen Abfall, wodurch die Schönheit der Landschaft vernichtet würde, Klage erheben. Man berechnet schon den Tag, wo die Fälle trocken liegen werden. Interessant ist es dabei, den Streit zwischen den amerikanischen und kanadischen Interessen zu verfolgen[1]). Besonders lebhaft ist der Widerspruch von Seiten des Staates Neuyork, weil an dieser Seite der Überlauf höher liegt als am kanadischen Ufer und somit hier zuerst ein Trockenlaufen zu befürchten ist. Die amerikanische Regierung hatte einen Ausschuß eingesetzt, um die Wasserführung der Niagarafälle zu studieren und die Grenzen der Wasserentnahme für Kraftzwecke festzusetzen. Der Bericht dieses Ausschusses schlägt vor, daß den auf der amerikanischen Seite befindlichen Werken eine Höchstentnahme bis zu 805 cbm/sek. gestattet werden soll. Die Wasserableitung auf kanadischer Seite soll möglichst 1020 cbm/sek. nicht überschreiten.

Auf die bisher auf der amerikanischen Seite bestehenden Unternehmungen soll entfallen:

	cbm/sek.
1. auf die Niagarawasserkraft- u. Fabrikgesellschaft . . .	270
2. auf die Niagarawasserkraft-Gesellschaft	240
3. auf die Speisung des Eriekanals samt Schleusen	12
4. auf den Chicago-Entwässerungskanal	283
	805

1) Scientific American 1905.

Die bisher auf der kanadischen Seite betriebenen Unternehmungen erhalten:

	cbm/sek.
1. Kanadische Niagarawasserkraft-Gesellschaft	270
2. Ontariowasserkraftgesellschaft	340
3. Elektrizitätsgesellschaft	317
4. Niagarafälle-Park-Eisenbahngesellschaft	42
5. Wellandkanal samt Schleusen	51
	1020

Diese Vorschrift, die sämtlichen Unternehmungen noch Vergrößerungen des Betriebes gestatten würde, soll zunächst eine zweijährige Gültigkeit haben und später Gesetzeskraft erhalten[1]).

Aber man weist andererseits auch darauf hin, daß nur ein Teil des Höhenunterschiedes zwischen dem Erie- und Ontario-See am Niagarafall selbst nutzbar gemacht wird, während ein wesentlicher Teil, etwa die Hälfte, in den oberen Stromschnellen des Niagara verloren geht. Der Welland-Kanal (kanadisch) vermeidet diese Verluste, indem er um den Fall herumführt, und er erlangt neuerdings Bedeutung für die Kraftausnutzung. In einem Licht- und Kraftwerk am Kanal werden bereits 24300 PS. gewonnen und erhebliche Erweiterungen sind vorgesehen. Man hebt vor allem auch hervor, daß der Ausbau der Kraftwerke am Niagarafall immer schwieriger und kostspieliger wird, während am Welland-Kanal hierfür günstige Vorbedingungen vorhanden sind[2]).

Wirtschaftspolitische Momente in der amerikanischen Wasserkraftverwertung.

Man verschließt sich neuerdings in den Vereinigten Staaten nicht der Einsicht von der Unbilligkeit der Lage, die durch die weitgehende Kraftausbeute des Niagarafalles seitens einzelner Betriebsgesellschaften geschaffen wird. Man erkennt, daß die Ausnutzung der Wasserkräfte durch Privatgesellschaften für das große Volk keinen Vorteil bringt. Die Stadt Buffalo, die mittels der Wasserkraft des Niagara beleuchtet wird, muß hierfür mehr bezahlen, als der durchschnittliche Lichtpreis in solchen amerikanischen Städten beträgt, die die elektrische Energie aus der Kohle gewinnen. Der jährliche Mehrpreis soll sich auf etwa 180 Mk.

1) Österr. Wochenschr. 1907 S. 104 nach Electrical World.
2) The Engineering Magazine, Nov. 1905.

für eine angeschlossene Pferdestärke belaufen. Das Gleiche gilt für die Fahrpreise der elektrischen Bahn, die in Buffalo nicht geringer als sonstwo sind. Auch die Stadtgemeinde selbst zieht an Gewinnanteilen und Abgaben der Betriebsgesellschaft keine höheren Erträge als andere Städte, in denen Dampfkraft-Elektrizitätswerke arbeiten.

Die Einnahmen aus den Niagarakräften kommen vielmehr lediglich den Kraftgesellschaften zugute, von denen der Staat Neuyork nicht einen Pfennig erhält, während Kanada jährlich etwa 1 Mill. Mk. als Abgabe erhebt. Die ganze Wohltat von vielen Millionen fällt also einem engumgrenzten Kreis von Aktionären in den Schoß. Man erhebt deswegen heute in Amerika lebhaft den Ruf, daß die Nutzung der freien Naturschätze dieses Wasserfalls der Allgemeinheit gesichert werde, und verlangt ein gemeinsames Handeln der beiden beteiligten Regierungen. Eine Verordnung vom Jahre 1787, die alle Gewässer, die sich in den Mississippi und St. Lorenzstrom ergießen, als Gemeingut aller Staaten und Territorien erklärt, soll zu solchem Vorhaben die rechtliche Handhabe bieten[1]).

Aber auch andere wirtschaftspolitische Gesichtspunkte für die Verwertung der Wasserkräfte werden erörtert.

Wenn zwar, wie oben ausgeführt, Nordamerika in seiner Wasserkraftausnutzung heute noch aus dem Vollen herauswirtschaftet, so werden doch schon Stimmen laut, die zur Überlegung mahnen. In diesem Sinne werden Vorschläge gemacht, einzelne besonders geeignete Täler für die Wasseraufspeicherung dauernd vorzubehalten. Als solche werden z. B. Täler am Lackawanna-Fluß sowie das Wyoming-Tal in Pennsylvanien empfohlen. Diese Täler sollen wirtschaftlich wenig verwertbar sein. Die Landwirtschaft ist in ihnen nicht einträglich, der Boden ist arm und das Gelände felsig, Regengüsse haben die obere Krume abgewaschen. Zudem sind die Gegenden wenig bewohnt und daher das Wasser von sehr guter Reinheit.

Weiterhin weist man darauf hin, daß in Nordamerika, wenn es zwar eine Reihe sehr guter Wasserkräfte besitzt, doch etwa $^4/_5$ aller erschließbaren Wasserkräfte unter einer Leistungsfähigkeit von 1000 PS. liegen. Für die Nutzbarmachung dieser kleinen Anlagen Geld aufzubringen, fällt heute schwer. Die Banken haben kein Interesse an so unbedeutenden Unternehmungen, sie können mit eben dem Maß von Ar-

1) Engineering News 1905 und Zentralbl. d. Bauverw. 1906 Nr. 24.

beitsaufwand eine Million in einem gewerblichen Unternehmen verwalten wie einige Hunderttausende, aber mit zehnmal mehr Nutzen. Die kleinen Wasserkräfte gelten daher als Sache der privaten Ausbeute, nicht eigentlich als »Finanzunternehmen«. Und man verschließt sich schon jetzt auch in Amerika nicht der Erkenntnis, welchen Vorteil gerade die Verwertung der kleinen Kräfte für die Dezentralisierung der Gewerbe mit sich bringen würde. Nordamerika ist heute wohl in der ganzen Welt am ausgeprägtesten das Land der großen wirtschaftlichen Konzentrationen und diese Bewegung ist noch im Wachsen begriffen. Das führt zur Anhäufung großer Menschenmassen in den Städten. Man wird dort die Schäden, die aus diesen Menschenansammlungen entstehen, gewahr und sucht die Menschen zu zerstreuen — dorthin, wo durch natürliche Bodenschätze die Lebensbedingungen gegeben sind oder sich billige mechanische Kräfte vorfinden. Und solche verteilende Eigenschaft glaubt man auch hier in den Wasserkräften zu erkennen, die in Einheiten von 200 bis 500 PS. in großer Zahl über das Land verteilt sind. Diese vielen kleinen Überlandzentralen würden sich gegenseitig unterstützen und damit noch eine gesteigerte Nutzwirkung schaffen. Es gibt Sozialpolitiker in Amerika, die eine Aufschließung dieser Art für vorteilhafter halten als die großen Kraftunternehmungen, zumal wenn die Nutzleistungen dieser großen Anlagen durch elektrische Übertragung entführt werden, ohne befruchtend auf die nächstgelegenen Bezirke zu wirken, die doch den ersten Anspruch darauf haben. Man ist aufmerksam geworden auf die Bestrebungen auf dem Festlande von Europa und besonderes Augenmerk hat Frankreich, Deutschland und die Schweiz auf sich gezogen durch die hier vorhandenen neueren Einrichtungen zur Kleinverteilung der Kräfte über das platte Land. Das wird den Amerikanern heute zum Vorbild.

Auf der anderen Seite stehen aber viele solchen sozialwirtschaftlichen Plänen recht mißtrauisch gegenüber. Man bezweifelt, daß die Lebensbedingungen in der kleinen Hausindustrie überhaupt bessere seien als die der Männer, die in gut eingerichteten Fabrikräumen arbeiten. Man befürchtet auch, daß die Güte der Arbeit im Hause leiden würde und sieht diese ganzen Bestrebungen mehr nur als einen eitlen Traum an, dessen Verwirklichung in Amerika noch lange Zeit eine ungelöste Aufgabe bleiben wird[1]).

1) The Eng. Rec. 1905 I S. 478; The Engineering Magazine. April 1905.

H. Deutschland.

Rückblick auf die Entwicklung der neueren deutschen Wasserkraftnutzung.

Es sind mehr als 20 Jahre her, als unter den deutschen Ingenieuren eine lebhafte Bewegung einsetzte, um eine bessere Nutzbarmachung der Wasserkräfte und eine zweckmäßigere Wasserwirtschaft in den Gebirgstälern herbeizuführen. Die derzeitige Wasserkraftnutzung in Deutschland war die denkbar extensivste und ging in regelloser Weise vor sich. Durch unvollkommene Verwertung der Abflußmengen und Gefällhöhen und ihre Zersplitterung wurde gleichsam eine unfruchtbare Raubwirtschaft getrieben. Aber auch die Ungleichmäßigkeit dieser Kraftquelle — ihr Nachlassen oder Versagen in trockner Zeit — erschütterte das Vertrauen und verhalf der zuverlässigeren Dampfkraft selbst in entlegenen Gebirgstälern zum Ansehen.

Die frühere deutsche Wasserwirtschaft im Gebirge beschäftigte sich mit der Regulierung und Festlegung der Bachbetten für den Hochwasserabfluß, mit der Zurückhaltung der Gerölle und Sinkstoffe, mit Ent- und Bewässerungen und sonstigen Fragen der Landesmelioration, jedoch die wirtschaftliche Bedeutung des Wassers für Kraftzwecke fand nur in veralteten Mühlen und Triebwerken eine ungenügende Würdigung. Für diese Frage war kein allgemeines Interesse vorhanden.

Man muß die Vorgänge der achtziger Jahre des abgelaufenen Jahrhunderts auf dem Gebiete dieser Bestrebungen zur besseren Kenntnis der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse verfolgen, um zu ersehen, welch gänzlich unbearbeitetes Arbeitsfeld hier vorlag. An Messungen und Beobachtungen über den Wasserhaushalt im Gebirge war nur ein ganz spärliches Material gesammelt. Mit dem Eifer, den die Erschließung eines neuen, so verheißungsvollen Wirtschaftsgebietes naturgemäß wachrufen mußte, wandte sich damals die wissenschaftliche Forschung den Voruntersuchungen zu unter einem bedeutenden Aufwande an Arbeit, Geld und Zeit. Es galt die notwendigen Unterlagen zu schaffen für die praktische Ausnutzung der Wasserkräfte auf der Grundlage der durch die Fortschritte der neueren Technik gebotenen Mittel[1]).

[1]) Eine kurze Übersicht über den hydrographischen Dienst und seine geschichtliche Entwicklung in Deutschland findet sich u. a. in den Schriften zum XI. Schiffahrts-Kongreß, St. Petersburg 1908; I. Abteil.

Die Erweiterung der Kenntnis der Niederschläge und des Abflusses konnte nur durch ein zeitraubendes Studium geschehen. Es klingt heute selbstverständlich, daß die Planung großer wasserwirtschaftlicher Unternehmungen, deren Kosten Millionen betragen und deren wirtschaftlicher Einfluß weite Kreise berührt, nicht auf Schätzungen und Mutmaßungen erfolgen kann. Man braucht dazu verläßliche Messungsergebnisse. Aber diese Einsicht war leider nicht immer vorhanden, und manche verfehlte Wassergewinnungsanlage zeugt von leichterer Auffassung, die früher bestand.

Einige Mitteilungen über Erfahrungssätze, die sich aus diesen vielseitigen Beobachtungen und Messungen der Wasserverhältnisse in den Gebirgen ergeben haben, finden sich in Abschnitt III A.

Am unteren Laufe unserer Ströme überwiegen die Interessen der Schiffahrt. Das geringe Gefälle würde hier nur in seltenen Fällen die Wasserkraftnutzung wirtschaftlich vorteilhaft machen, und die Anlegung langer seitlicher Betriebskanäle rechtfertigen. Überdies kann es nicht angängig erscheinen, den ohnehin knappen Wasserabfluß der Schiffahrtsstraße in trockner Zeit durch Kraftwasserentnahme noch mehr zu schwächen. Günstiger gestaltet sich diese Sachlage im mittleren Laufe der Flüsse mit ihrem stärkeren Gefälle. Die mehrfach erfolgte Kanalisierung hat hier den Gedanken der Kraftausnutzung an den Staustufen rege werden lassen und zu Vorschlägen geführt, die in Abschn. III E erörtert worden sind. Wenn ein planmäßiger Ausbau im großen bisher zwar noch nicht erfolgt ist, so haben doch mehrfach Einzelanlagen (u. a. Gersthofen, Oder-Spree-Kanal, Mühlendammschleuse in Berlin, Saar bei Saarbrücken, Weser bei Hastedt, s. S. 371) in geringerem und größerem Umfange der praktischen Verwirklichung günstig vorgearbeitet und erkennen lassen, daß an den kanalisierten Flüssen die Interessen der Kraftausnutzung und Schiffahrt sehr wohl vereinigt werden können.

Es ist das unvergängliche Verdienst des verstorbenen Geh. Regierungsrats Prof. Dr.-Ing. Intze, diese Bestrebungen zur besseren Ausnutzung der Wasserkräfte in Deutschland in außerordentlichem Maße gefördert zu haben. Jahrelang hat er in Wort und Schrift nachdrücklich und unermüdlich die Bedeutung der Nutzbarmachung der Wasserkräfte im Gebirge verfochten, bis seine Ideen sich zur Anerkennung durchrangen. Er hatte die Entwicklung im Auslande verfolgt und wies mit weitem Blick seinem Vaterlande die Ziele, gleichzeitig gab er aber auch

in den Talsperren und in eignen Ausführungen von Wasserkraftanlagen der Technik Vorbilder und Mittel und Wege an die Hand zu praktischer und erfolgreicher Betätigung. In seinem Namen und seiner Person lag, so lange er unter den Lebenden weilte, der Schwerpunkt dieser immer größer werdenden Bewegung.

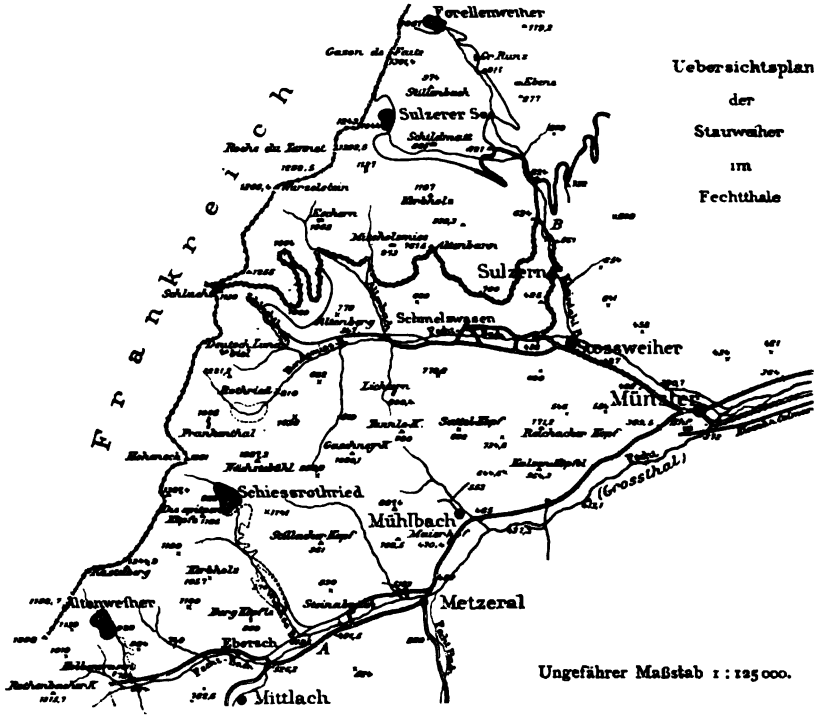
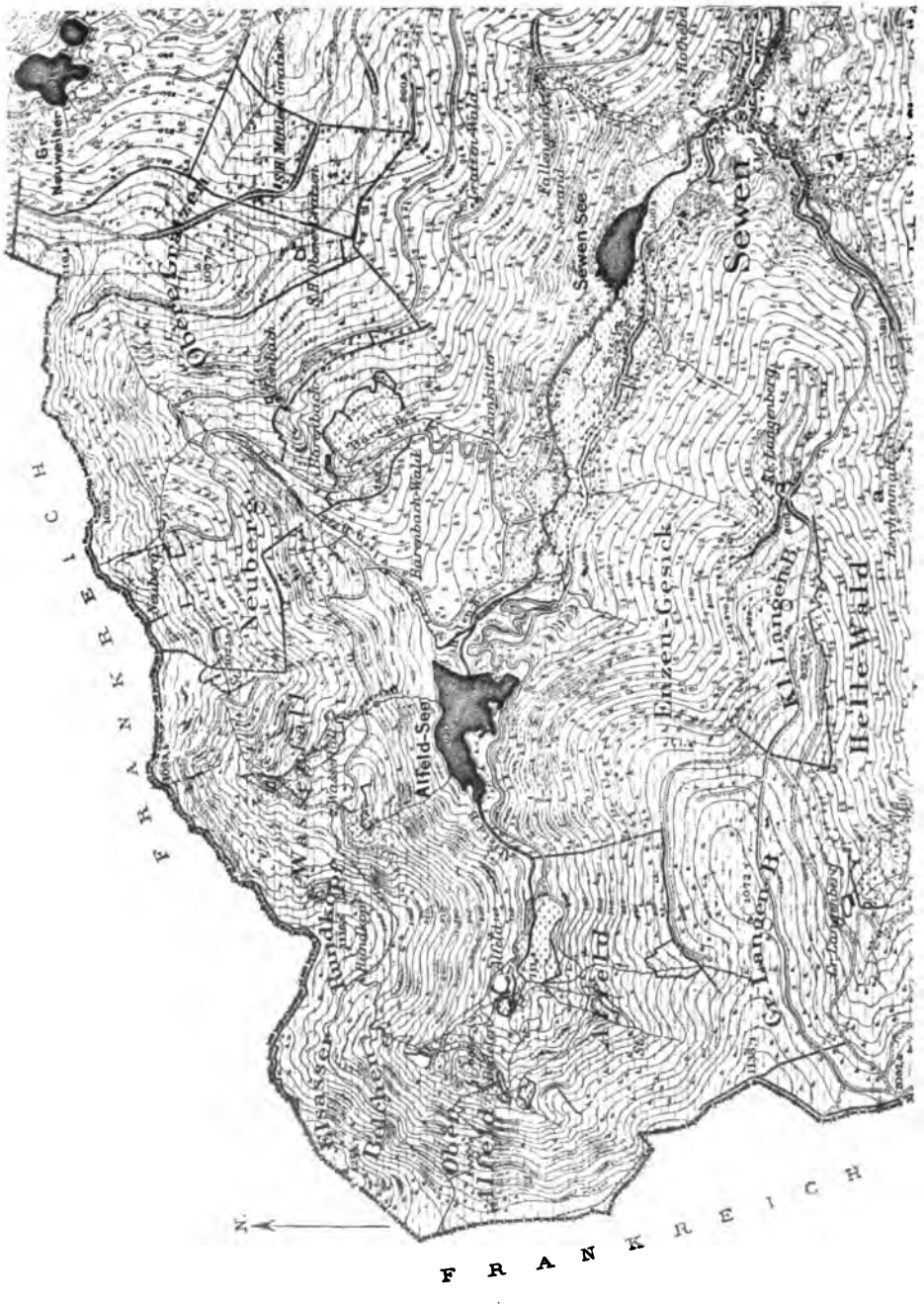


Abb. 231. Stauweiher in den Vogesen.

Neuere deutsche Wasserkraftunternehmungen.

Es würde hier zu weit führen und es hieße vielfach nur Bekanntes vorführen, wollte man auf die vorstehend skizzierte Entwicklung im einzelnen eingehen. Es sei hier nur erinnert an die zahlreichen Talsperrenanlagen Intzes im Wupper- und Ruhrgebiet, die neben der Trinkwasserversorgung in erster Linie der Kraftgewinnung, teils in zentralen Werken, teils durch Aufhöhung des Niedrigwassers in den Triebwerken dienen, und an die schlesischen Hochwasserschutzbecken von Mauer und Marklissa, die gegenwärtig auch für Kraftgewinnung ausgebaut werden. Das



Ungefährer Maßstab 1 : 30 000.

Abb. 232. Stauweiher in den Vogesen. — Übersichtskarte des Stauweihers in Alfeld.

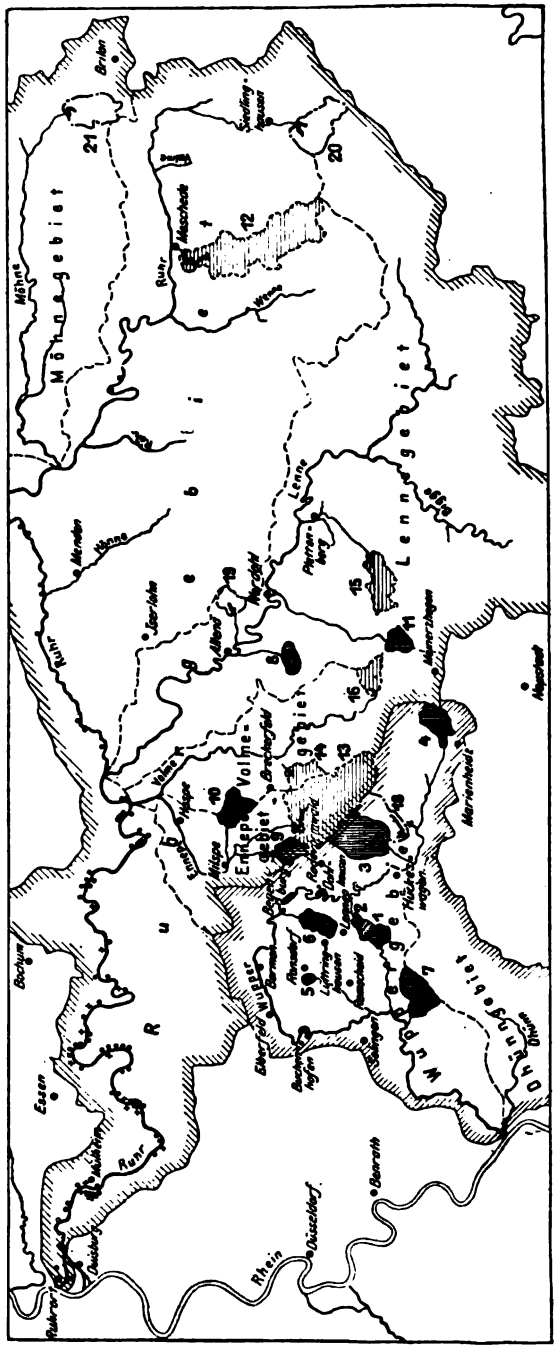
Tabelle 84. Stauweiher in den Vogesen[1].)

(Abb. 231 u. 232.)

Nr.	Bezeichnung	Bauausführungsjahr	Hauptzweck der Anlage	Größe des Niederschlagsgebietes qkm	Stauinhalt des Beckens Mill. cbm	Stauhöhe über Talsohle m	Gesamtkosten des Staubeckens mit Nebenanlagen Mk.	Kosten für 1 cbm Stauinhalt einschl. Grunderwerb Pf.	Bemerkungen
1	Alfeldweiher . .	1883—87	Aufhöhung der Niedrigwasserstände für Kraftzwecke in den Triebwerken und für landwirtschaftl. Bewässerung.	5,2	1,1	23,0	440 000	40	Es können durch den Weiher in den unterhalb gelegenen Triebwerken jährlich 800000 PS.-Stunden nutzbar gemacht werden. Der Gesamtgewinn fürs Jahr wird für die Industrie zu 25000 Mk., für die Landwirtschaft zu 50000 Mk., zus. zu 75000 Mk. angegeben, sodaß eine Verzinsung der Anlagekosten von 17 v. H. vorhanden ist.
2	Altenweiher . . .	1886—88	Wie vor.	0,12	0,725	14,1	269 100	37	Talsperre aus Mauerwerk. — Der Nutzen der vier Weiher Nr. 2—5 wird für die Sommerperiode angegeben: für die Industrie . . . 32000 Mk., » » Landwirtschaft . 36000 » zusammen 68000 Mk. Die Verzinsung des Anlagekapitals beträgt 11 v. H.
3	Schießrotried . .	1886—91	Wie vor.	0,124	0,325	11,5	146 200	45	Damm.
4	Forellenweiher .	1890—91	Wie vor.	0,09	0,16	10,0	49 300	36	Wiederherstellung eines alten Dammes.
5	Sulzersee	1890—91	Wie vor.	0,06	0,58	9,8	40 600	7	Wie vor.
6	Lauchensee . . .	1889—94	Niedrigwasservermehrung für Triebzwecke.	5,5	0,9	20,0	975 000	1,26[2])	Mauer.

1) Zusammengestellt nach den Veröffentlichungen von Fecht, Zeitschr. f. Bauwesen 1889 u. 1893.

2) Ohne Grunderwerb.



Ungefährer Maßstab 1:800000.

Abb. 233. Übersichtskarte der Talsperrenanlagen in Rheinland und Westfalen (Wupper- und Ruhrgebiet).

(Die Zahlen beziehen sich auf Tabelle 85.)

Tabelle 85. Talsperrenanlagen in Rheinland und Westfalen[1]).

(Abb. 233.)

Nr.	Bezeichnung	Jahr der Bau-ausführung	Hauptzweck der Anlage	Größe des Niederschlags-gebietes qkm	Mittlere Wasserzufluß-menge im Jahr Mill. cbm	Stauinhalt des Beckens Mill. cbm	Stauhöhe über Talsohle m	Kosten der Sperrmauer einschl. Grunderwerb Mk.	Kosten des Staubeckens für 1 cbm Stauinhalt Pf.	Gesamtkosten der Talsperre mit allen Nebenanlagen Mk.	Bemerkungen
	A. Ausgeführte Becken.										
	Wuppergebiet.										Zu d. letzten Spalte:
1	Eschbachtal b. Remscheid	1889/91	Wasserversorgung von Remscheid.	4,5	3,6	1,0	18,0	537 000	54	800 000	Mit Erweitrung des Wasserwerkes.
2	Panzertal bei Lennep	1891/93	Wasserversorgung von Lennep.	1,5	1,2	0,117	7,5	105 000	90	105 000	
3	Bevertal bei Hückeswagen	1896/98	Wasserabgabe für die Triebwerke der Wupper u. Hochwasserschutz.	22,0	17,52	3.3	16,0	1 430 000	43	3 050 000	Einschl. der Ausgleichweiher bei Buchenhofen und Beyenburg u. Vergrößerg. d. Dahlhauser Weihers.
4	Lingesetal bei Marienheide	1897/98		9,0	8,0	2,6	18,5	1 070 000	41		
5	Salbachtal bei Ronsdorf	1898/99	Wasserversorgung von Ronsdorf u. Abgabe an Triebwerkbesitzer.	0,87	0,65	0,3	19.3	510 000	170	950 000	Mit Wasserwerk.
6	Herbringhausertal b. Lüttringhausen . .	1898/00	Wasserversorgung von Barmen.	5,5	4,4	2,5	29,7	2 000 000	80	2 500 000	Mit Filteranlage und Rohrleitung.
7	Sengbachtal bei Solingen	1900/02	Wasserversorgung, sowie Kraft- u. Lichtabgabe für Solingen.	11,8	8,0	3,0	36,0	2 100 000	70	4 000 000	Mit Wasser- u. Elektrizitätswerk.
	Ruhrgebiet.										
8	Füelbecke bei Altena	1894/96	Abgabe von Betriebswasser an die Werkbesitzer in der Füelbecke u. Rahmede.	3,5	2,8	0,7	27,0	328 000	43	328 000	
9	Heilenbecke bei Milspe	1894/96	Wasserversorgung von Gevelsberg und Abgabe von Wasser an die Triebwerke.	7,6	5,5	0,45	19,5	280 000	62	400 000	Mit Wasserversorgung von Gevelsberg.
10	Haspertal bei Haspe	1901/03	Wasserversorgung der Stadt Haspe, Wasserabgabe an die Triebwerke im Haspertale und an die Trieb- u. Pumpwerke an der unteren Ruhr.	8,0	6,0	2,05	27,5	1 360 000	66	1 900 000	Mit Wasserversorgung und Wasserleitung.
11	Versetal oberhalb Werdohl	1902/03	Wasserversorgung von Lüdenscheid, Wasserabgabe an die Trieb- und Pumpwerke an der unteren Ruhr.	4,7	3,7	1,65	23,7	600 000	36	700 000	Mit Wegeanlagen u. Wärterhaus.
12	Hennetal bei Meschede	1901/05	Wasserabgabe für die Trieb- und Pumpwerke an der unteren Ruhr.	52,7	40,0	9.5	30.4	2 600 000	27	2 600 000	

13	Ennepetal bei Radevormwald. . .	1902/04	Versorgung des Kreises Schwelm mit Wasser u. elektr. Kraft. Abgabe für die Triebwerke an der Ennepe und die Trieb- u Pumpwerke an der unteren Ruhr.	48,0	36,0	10,0	34,9	2 600 000	26	4 800 000	Großer Grunderwerb um das Becken herum, Wasser- u. Elektrizitätswerk unterhalb d. Sperre nebst Verteilungsnetz.
14	Glörbachtal bei Breckerfeld . . .	1903/04	Wasserabgabe für die Werkbesitzer an der Volme und die Trieb- u. Pumpwerke an der unteren Ruhr.	7,2	5,5	2,0	27,7	780 000	39	780 000	
15	Östertal bei Plettenberg	1903/06	Wasserabgabe für die Triebwerke im Östertal und die Trieb- und Pumpwerke an der unteren Ruhr.	12,6	10,5	3,0	31,4	1 100 000	38,3	1 100 000	Mit Kraftw. von 275 PS. Leistung.
16	Jubachtal b. Meinerzhagen	1904/05	Wasserabgabe für die Triebwerke der Volme und die Trieb- und Pumpwerke an der unteren Ruhr.	6,6	5,0	1,0	23,2	630 000	63	630 000	
	Ruhrgebiet (Eifel)										
17	Urfttalsperre bei Gemünd (Eifel) . .	1900/04	Schaffung einer elektrischen Kraftstation von mindestens 4800 PS. an 7200 Betriebsstunden im Jahre und Hochwasserschutz.	37,5	180,0	45,5	52,5	4 000 000	9	10 500 000	Mit Stollenanlage, Elektrizitätswerk u. Verteilungsnetz.
			Zusammen rund	—	—	88,7	—	22 049 000	25	30 803 000	

B. In Ausführung begriffene und geplante Becken.

	Wuppergebiet.	Beginn									
18	Neyetal	1905	Erweiterung der Wasserversorgung von Remscheid und Wasserabgabe an die Triebwerke an der Wupper.	11,6	9,2	6,0	23,9	1 700 000	28,4	4 100 000	Mit Stollen, Turbinen, Rieselanlagen, Rohrleitungen und Wasserturm.
	Ruhrgebiet.										
19	Nettetal bei Altena .	—	Wasserabgabe für die Triebwerke an der Nette und an die Trieb- u. Pumpwerke an der unteren Ruhr.	4,5	3,6	1,5	24,3	825 000	55	850 000	Mit Ausgleichweiher.
20	Negertal b. Siedlinghausen.	—	Wasserabgabe an die Triebwerke im Negertal und an der oberen Ruhr, sowie für die Trieb- und Pumpwerke an der unteren Ruhr.	14,0	11,2	4,0	28,0	1 600 000	40	1 600 000	
21	Glennetal	—	Wasserversorgung der Dörfer des Haarstrangs. Anlage einer Kraftstation und Wasserabgabe für die Trieb- und Pumpwerke an der unteren Ruhr.	14,6	8,0	5,0	29,0	1 800 000	36	4 600 000	Mit Wasserleitung u. Kraftanlage.
22	Möhnetal	1907	Wasserabgabe für die Trieb- und Pumpwerke an der unteren Ruhr, sowie Kraftgewinnung in einem zentralen Kraftwerk.	416	260	130	33	15 000 000	11,5	—	Kraftwerk für 2000 PS. Leistung ist geplant.
23	Listertal	Voraussichtlich 1909	Wasserabgabe für die Triebwerke an der Bigge und Lenne und für die Pumpwerke an der unteren Ruhr, sowie Kraftgewinnung in einem zentralen Kraftwerk an der Talsperre.	67	54	22	34	3 800 000	17,0	4150000*)	*) Einschl. eines Elektrizitätswerkes für 450 PS.
			Zusammen rund	—	—	168,5	—	24 725 000	15	—	

1) Zum Teil nach Intze, Talsperrenanlagen, 1904, Abb. n. Z. d. V. deutsch. Ing. 1906.

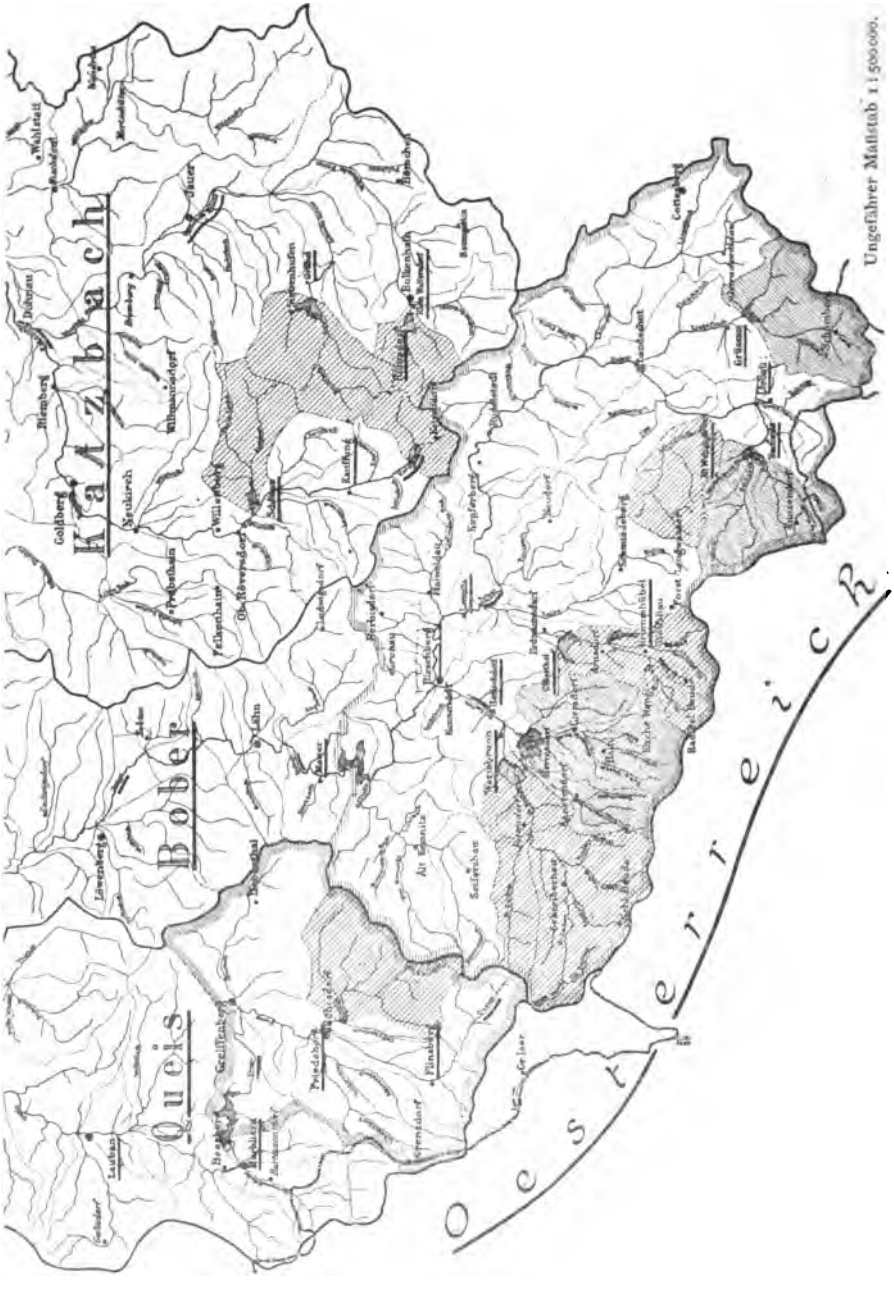


Abb. 234. Talsperrenanlagen im Gebiete des Queis, des Bober und der Katzbach in Schlesien.

Tabelle 86. Talsperrenanlagen im Gebiete des Queis und Bober, der Katzbach und der Glatzer Neiße in Schlesien (Abb. 234)[1]).

Die Talsperren sind zum Teil fertiggestellt, zum Teil in der Ausführung begriffen oder in Aussicht genommen.

Nr.	Bezeichnung der Talsperre	Bau-ausführungs-jahr	Niederschlags-gebiet qkm	Stau-inhalt Mill. cbm	Stau-fläche ha	Höhe der Sperre über Talsohle m	Kronen-länge m	Gesamt-kosten Mk.	Kosten für 1 cbm Stau-inhalt Pf.	Bemerkungen
1	Queis bei Marklissa	1901/4	303,0	15,0	140,0	40,0	130	3 200 000	21,0	Queisgebiet. Mauer. Kraftabgabe 2100 PS., später 3500 PS.
2	Heidewasser b. Herischdorf	1903/4	92,0	4,0	227,0	8,4	1500	900 000	23,0	Bobergebiet. Erddamm.
3	Bober bei Buchwald	1904/5	59,0	2,2	77,5	14,6	220	1 100 000	50,0	» Mauer.
4	Bober bei Mauer	1905/11	1210,0	50,0	240,0	48,0	280	8 100 000	16,2	» Mauer. Kraftgewinn 3000 PS. bei 24stündigem Betrieb.
5	Langwasser bei Friedeberg	1908	62,0	3,4	85,0	11,4	600	500 000	14,0	Queisgebiet. Erddamm.
6	Zacken bei Warmbrunn . .	1906	120,0	6,0	197,0	7,0	3000	1 600 000	27,0	Bobergebiet. Erddamm.
7	Zieder bei Grüssau	1905	57,0	0,94	64,0	4,75 6,35	465 320	400 000	43,0	» Zwei Becken übereinander. Erddämme.
8	Lomnitz bei Krummhübel .	—	11,0	0,54	7,9	29,0	254	650 000	120,0	Bobergebiet. Mauer.
9	Schweinlich bei Weißbach.	—	37,0	0,525	20,0	6,5	370	250 000	48,0	» Erddamm.
10	Lomnitz bei Zillertal	—	50,0	2,34	—	8,5	1200	600 000	26,0	» »
11	Katzbach bei Kauffung . . .	—	19,0	0,68	—	—	150	265 000	39,0	Erddamm.
12	Steinbach bei Schönau . . .	—	39,0	1,57	—	20,2	130	316 000	20,0	Mauer.
13	Röhrsdorfer Wasser	—	18,0	0,48	—	11,0	160	170 000	36,0	Erddamm.
14	Kleine Neiße	—	51,0	0,90	—	12,2	130	300 000	34,0	»
15	Mohre bei Seitenberg . . .	1908	51,5	0,92	—	15,8	483	255 000	28,0	»
16	Wölfelsgrund	1905/6	25,0	0,91	—	25,4	108	500 000	55,0	Mauer. Nutzwasserraum.

Diese 16 Becken mit zusammen rund 90 Mill. cbm Stauraum sperren ein Niederschlagsgebiet von 2203 qkm ab. Sie dienen in erster Linie dem Hochwasserschutz. Einige Becken sollen daneben auch der wirtschaftlichen Ausnutzung von Wasserkräften dienen, und es stehen von dem ganzen Stauraum für letzteren Zweck 25,3 Mill. cbm zur Verfügung. Hiervon entfallen auf die Becken von Marklissa und Mauer 5 und 20 Mill. cbm Nutzwasserraum.

1) Nach einer Karte der Provinzial-Verwaltung in Schlesien.

Talsperrensystem der Vogesen, ein Werk Fechts, wurde im wesentlichen ebenfalls für Kraftzwecke geschaffen. Zu gleicher Zeit entstanden eine Reihe großer zentraler Kraftwerke, wie Rheinfelden, Gersthofen, Augsburg, die Isarwerke u. a. m., und in Verbindung mit Talsperren die Überlandzentralen der Stadt Solingen, in Heimbach (Urfttalsperre)[1]) und an der Ennepe (Ruhrgebiet)[1]).

Es ist in den vor- und nachstehenden Tabellen 84 bis 88 und in den Karten (Abb. 231 bis 236) eine Übersicht der in den beiden letzten

Tabelle 87. Harztalsperren.

Ort	Größe des Niederschlagegebietes qkm	Stauinhalt Mill. cbm	Nutzgefälle m	Leistung PS.	Anlagekosten der Talsperre Mill. Mk.	Bemerkungen
1. Ausgeführte Anlage.						
Nordhausen . . .	5,7	0,770	192	100*)	0,470	Die Anlage dient zugleich der Trinkwasserversorgung. — *) Tag und Nacht; in max. 170 PS., s. S. 106, 211 u. 286.
2. Entwürfe.						
Okertalsperre . .	87,0	27,0	48 bzw. 244	1 200*) bzw. 3 000**)	6,1	*) In einem zentralen Kraftwerk an der Talsperre. **) In den Triebwerken unterhalb der Talsperre.
Eckertalsperre .	—	7,5	150	1 400	4,5	
Radautalsperre .	18,0	4,0	140	1 000	—	
Bodetalsperre . .	—	—	199	27 000	—	Während 10 Stunden täglich
				u. a. m.		

Jahrzehnten entstandenen deutschen Talsperren für Kraftzwecke, sowie der neueren bedeutenderen Wasserkraftanlagen gegeben.

In den Abb. 237 bis 244 sind zwei neuere Talsperrenanlagen zur Darstellung gebracht, die der Nutzbarmachung von Wasserkräften dienen. Erläuternd wird dazu bemerkt:

Das Wasser- und Elektrizitätswerk der Stadt Solingen im Sengbachtale bei Glüder (Abb. 237) ist, wie bei Besprechung der Voruntersuchungen in Abschn. III A und IV C näher ausgeführt wurde, eine

1) Siehe S. 290 bis 297.

Anlage für Trinkwasser- und Kraftgewinnung. Das Wasser (Trink- und Kraftwasser) wird gewonnen durch Aufstauung des Sengbaches in Sammelbecken mittelst zweier Talsperren; Kraftwasser ergibt außerdem die Stauung der Wupper. Diesem doppelten Zweck entsprechend gliedert sich die Gesamtanlage in zwei Hauptgruppen (Abb. 238 und 239), lediglich der Trinkwasserversorgung dient das Vorbecken von 100000 cbm Stauinhalt; lediglich zur Kraftgewinnung das Wehr in der Wupper (siehe Seite 135 u. 154). Das durch die große Sperrmauer von 43 m Höhe gebildete Hauptbecken von etwas mehr als 3 Mill. cbm Fassungsraum (Abb. 240 u. 241) erfüllt beide Zwecke; es liefert in der trocknen Jahreszeit die Wasserversorgung der Stadt und gibt in Verbindung und in Ergänzung mit der gestauten Wupper die erforderliche Kraft, um das Trinkwasser aus dem Tale nach dem Hochbehälter bei Solingen um 170 m zu heben, von wo sich dasselbe in das Rohrnetz der Stadt verteilt. In der hierdurch gebotenen Möglichkeit, die Hebung des Trinkwassers allein durch Wasserkraft zu bewerkstelligen, liegt bei der schwierigen Zugänglichkeit des Pumpwerkes ein besonderer Vorzug der Anlage.

Die in dem Gefälle des gestauten Wassers nutzbare Kraft wird durch diese Arbeitsleistung nicht aufgebraucht; es ist darüber hinaus ein Vorrat an Wasserkraft vorhanden, welcher in elektrische Energie umgewandelt wird. Aus diesem Grunde sind in dem Maschinengebäude an der Wupper neben den Einrichtungen für Wasserhebung Dynamomaschinen aufgestellt (Abb. 127 bis 129).

Sämtliches Trinkwasser wird vor seiner Verwendung gereinigt. Dies geschieht teils durch Rieselwiesen, teils durch Sandfilter (Abb. 238).

Der zukünftige größte Jahresbedarf der Stadt an Trinkwasser ist mit 2000000 cbm in Ansatz gebracht; außerdem werden jährlich rund 4000000 Pferdekraftstunden gewonnen, wovon 1600000 Pferdekraftstunden für die Wasserhebung verbraucht werden, während nach elektrischer Fernleitung auf 6 km bei nur 70 v. H. Nutzwirkung rund 1700000 Pferdekraftstunden in Solingen für elektrische Zwecke verfügbar sind.

Die Leistungsfähigkeit für Trinkwasser ist 10000 cbm am Tage; zeitweilig stehen für Kraftleistung 1550 Pferdekräfte zur Verfügung, davon 600 Pferdekräfte für die Pumpen, 950 Pferdekräfte für die Dynamomaschinen.

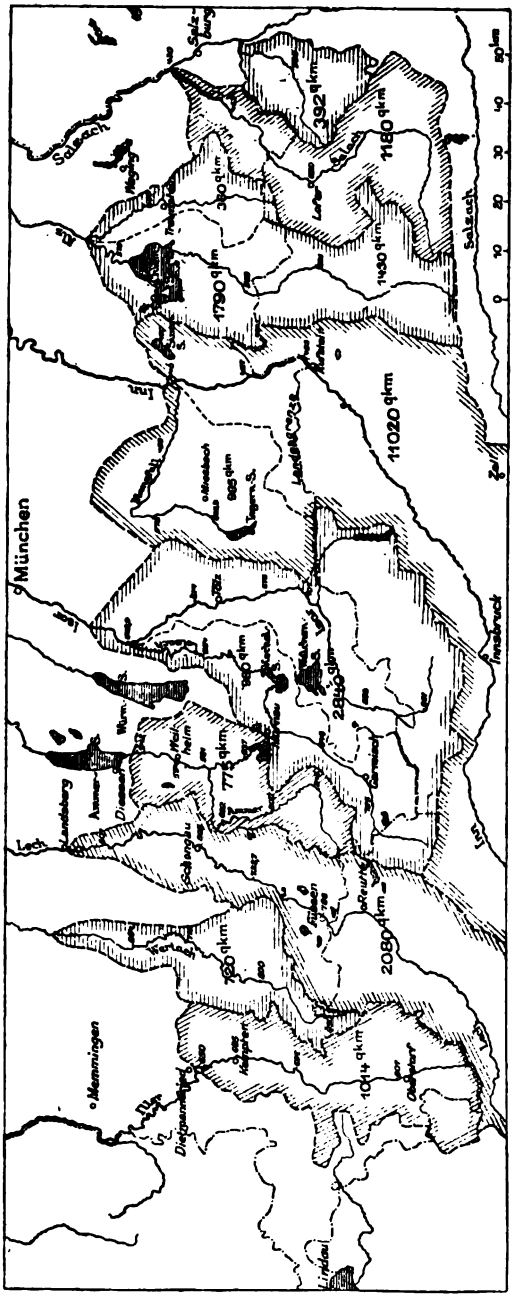


Abb. 235[1]. Übersichtskarte der Flußläufe und ihrer Niederschlagsgebiete in Ober-Bayern.

1) Abb. 235 u. 236 nach Bayer. Industrie- u. Gewerbebl. 1906.

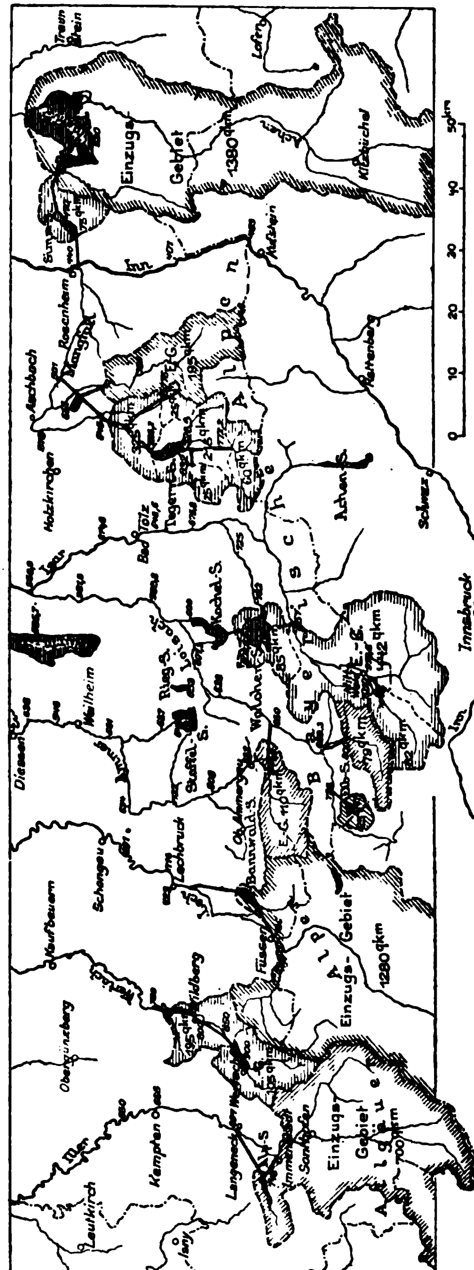


Abb. 236. Übersichtskarte der nutzbaren Wasserkräfte in den bayerischen Alpen.

Tabelle 88. Neuere Wasserkraftunternehmungen in Deutschland[1]).

Ort	Jahr der Betriebseröffnung	Gefälle m	Leistung PS.	Kraftübertragung: Entfernung km	Kraftübertragung: Spannung Volt	Verwendung (Ü.-Z. = Überlandzentrale, K. u. L. = Kraft und Licht)	Einheit der Turbinenzahl × PS.	Bemerkungen
Rheinfelden	1898	2,8—4,9	16 800	—	6 800	Elektrochemische Zwecke und Überlandzentrale.	20 × 840	Seit 1902 Ergänzung durch eine Dampfanlage (2000 PS.), deren Erweiterung geplant ist.
Gersthofen	1899	10 10,5	6 000	16	5 000	Elektrochemische Zwecke, K. u. L.	4 × 1500	
Augsburg (am Stadtbach)	1902	6—7,5	3 100	2	3 000	Kraft für Spinnereibetrieb.	1 × 900 2 × 1100	
Untertürkheim	1901	2,8	720	0,300	3 000	K. u. L.	3 × 240	600 PS. als Dampfaushilfe. Der Stadt Stuttgart gehörig.
Crottdorf (Sachsen)	1900	—	1 360	—	7 000	K. u. L.	—	Überlandzentrale für 30 Ortschaften. Mit Dampfaushilfe.
Dahlerau-Schlenke (Wupper)	1899	—	1 200	—	—	Ü.-Z. für 3 Städte u. 15 Höfe.	—	Mit Dampfaushilfe.
Dachau (Bayern)	1897	—	400	—	2 600	Elektrizitätswerk.	—	Mit Dampfaushilfe.
Eisenfurt (Württemberg)	1900	—	440	—	3 000	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Isarwerke	1895	3,5 und 6,6	15 600	—	10 000 und 5 000	Ü.-Z. für 30 Orte. K. u. L.	—	Zwei Zentralen mit Dampfaushilfe.
Kempten (Bayern)	1901	—	675	—	—	Städtisches Elektrizitätswerk.	—	Mit Dampfaushilfe.
Lauffen-Heilbronn (Württbg.)	1892	—	1 600	—	5 000	Für die Zwecke eines Zementwerkes u. Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Lausitzer Elektrizitätswerk.	1901	—	1 000	—	6 000 und 3 000	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
München (städt.)	1893	—	9 000	—	5 000	Städtisches Elektrizitätswerk	—	Die Wasserkraft beträgt 650 PS. Zwei Zentralen von 5 900 u. 3 900 PS. Leistung im Bau.
Marbach (Neckar)	—	2,7—3,2	1 440	20	11 000	Ü.-Z.	4 × 360	Der Stadt Stuttgart gehörig.
Borstendorf (Sachsen)	—	7,7	1 000	—	5 000	Papierfabrik. Spinnereibetrieb.	—	Mit Dampfaushilfe.
Albbruck (Schwarzwald)	Um 1900	48	1 080	3	3 000	Papierfabrik.	2 × 500	Zuleitungsstollen von 1410 m Länge.

Elektrische Bahn Murnau-Oberammergau . . .	Um 1900	—	1 060	24	5 000	Eisenbahnbetrieb, Beleuchtung u. Werkstättenbetrieb.	—	Die erste größere Bahn mit elektrischem Betrieb in Deutschland.
Hirschau bei München . .	—	4,4	1 000	—	—	Elektrische Energie f. Kraft u. Licht.	3 × 335	
Neckarwerke Altbach-Deizisau	1901	—	4 160	120 (Netz)	10 500	Ü.-Z.	3 × 400	Wasserkraft 1200 PS. Dampfkraft 1200 PS.
Pfaffenhoven a. Ilm . . .	1899	—	500	70 (Netz)	3 600	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Plettenberg i. Westf. . .	1898	—	2 100	—	10 000	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Lechbruck	1899	5	2 000	—	—	Umwandlung in elektrische Energie.	—	
Bad Reichenhall (Bayern) .	1890	—	600	11	2 000	Städtisches Elektrizitätswerk	—	Wasserkraft 250 PS. Dampfkraft 370 PS.
Rosenheim	1896	—	1 040	—	2 000	Städtisches Elektrizitätswerk.	—	680 PS. als Dampfaushilfe.
Schwandorf	1895	—	450	—	2 000	Elektrizitätswerk.	—	Mit Dampfaushilfe.
Bergisch. Elektrizitätswerk (Wupper)	1898	—	2 200	95 (Netz)	6 000 und 3 000	Ü.-Z. für K. u. L., zum Teil Bahnzwecke.	—	Mit Dampfaushilfe.
Wangen i. Allgäu . . .	1893 und 1898	—	1 260	—	5 000	Ü.-Z.	—	Zwei Zentralen.
Zell i. Wiesental (Baden) .	1899	—	1 500	—	5 000	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Heimbach (Eifel)	1905	70—110	12 000 bis 16 000	30	35 000 5 000	Ü.-Z. für K. u. L. für Aachen (Stadt- u. Landkreis), Düren u. Schleiden.	8 × 1500 2 × 250	Mit Sammelbecken von 45 Mill. cbm Stauinhalt.
Solingen	1902	5 bzw. 50	1 550	6	5 000	Ü.-Z. für K. u. L. Wasserhebung.	4 × 300	Mit Sammelbecken von 3 Mill. cbm Stauinhalt. 950 PS. werden aus der Wupper gewonnen, 600 PS. werden aus der Talsperre gewonnen. Mit Dampfaushilfe.

1) Zum Teil nach der Statistik der E. T. Z. 1907.

Ort	Jahr der Betriebseröffnung	Gefälle m	Leistung PS.	Kraftübertragung Entfernung km	Kraftübertragung Spannung Volt	Verwendung Ü.-Z. = Überlandzentrale K. u. L. = Kraft und Licht	Einheit der Turbinenzahl × PS.	Bemerkungen
Ennepetalsperre	1905	35	720	16	20 000	Wie vor.	3 × 250	230 PS. für Wasserhebung, 490 » » elektrische Kraft. An den Triebwerken werden außerdem 900 bis 1000 PS. gewonnen.
Nordhausen	1906	192	100	3	550	Versorgung der Stadt und des Bahnhofs Nordhausen mit K. u. L.	2 × 84	100 PS. stehen Tag und Nacht zur Verfügung. Höchstleistung 170 PS.
Berchtesgaden.	—	150	60	—	—	Lichtzwecke im Salzbergwerk und Wasserhebung.	35 u. 25	
Kehl (Rhein)	1900	2,50	1 600	—	3 000	K. u. L. Bahnhofs- und Hafenbetrieb.	4 × 250	Staatlich betriebenes Wasserkraftwerk (Baden). Mit Dampfaushilfe.
Remscheid	1891	25	85	—	—	Wasserhebung.	60 u. 25	Dampfverstärkung.
Kraftgewinn der Triebwerke am Doller (Vogesen) . .	1888	100 (Gesamtgefälle)	rd. 130	—	—	Nutzung in mechanischen Triebwerken.	—	An 7200 Stunden im Jahr. Kraftgewinn durch Aufhöhung des Niedrigwassers aus dem Ahlfeldweiher (1,1 Mill cbm Stauinhalt).
Kraftgewinn der Gruppe Altenweiher-Schießrotried (Vogesen)	1889	81 (Gesamtgefälle)	rd. 140	—	—	Wie vor.	—	Kraftgewinn durch Aufhöhung des Triebwassers an 7200 Stunden im Jahr aus vier Becken mit zusammen 1,8 Mill. cbm Stauinhalt.
Kraftgewinn in den Triebwerken an der Wupper .	1896	202 (Gesamtgefälle)	1 000	—	—	Wie vor.	—	Näheres vgl. Absch. IV B.
Altdamm	1896	—	350	—	—	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.

Augsburg (Lech Elektrizitätswerk)	1902	—	13 900	—	5 000	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Behringersdorf bei Nürnberg	1901	—	190	—	2 280	K. u. L.	—	
Berchtesgaden	1889	—	200	—	—	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Besigheim	1902	—	250	2,3	3 000	Betrieb einer Nägelfabrik.	—	Mit Dampfaushilfe.
Bestwig a. d. Ruhr	1901	—	240	—	—	Ü.-Z.	—	Mit Sauggasaushilfe.
Blankenburg i. Thür.	1900	—	150	—	—	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Bockenem i. Hann.	1902	—	180	—	—			
Breitental bei Krumbach (Schwaben)	1899	—	320	—	—	Ü.-Z. für K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Buxtenbach und Münsterhausen (Bayern)	1906	—	110	—	3 000	Ü.-Z. für K. u. L.	—	
Copitz a. d. Elbe	1904	—	210	—	2 200	Ü.-Z. für K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Donaueschingen	1895	—	400	—	10 000	Wie vor.	—	Wie vor.
Ehrang (Bez. Trier)	1902	—	375	—	5 250	Wie vor.	—	Wie vor.
Eichdorf a. Bober	1896	—	1 275	40 km H.-Sp.-Netz	10 000	Ü.-Z. für K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Ensheim (Rheinpfalz)	1895	—	300	6,5	5 000	Wie vor.	—	
Erbach (Odenwald)	1903	—	200	—	—	Wie vor.	—	Mit Dampfaushilfe.
Erding i. Ober-Bayern	1892	—	700	9	5 000	Wie vor.	—	Wie vor.
Erstein i. Elsaß	1893	—	180	—	—	K. u. L.	—	Wie vor.
Eschau i. Elsaß	1902	—	570	—	8 700	Ü.-Z.	—	Wie vor.
Entingen i. Baden	1904	—	450	—	310	Ü.-Z.	—	Mit Sauggasaushilfe.
Forchheim (Bayern)	1895	—	210	—	—	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Frankenberg i/Sa.	1893	—	300	—	—	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Freising b. München	1893	—	330	—	—	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Ganting (Oberbayern)	1897	—	120	—	—	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Gosbach a. Fils	1904	—	120	—	—	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Greene (Braunschweig)	1902	—	500	28 km Leit.-Netz	5 000	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Günzburg a. Donau (Hochwang)	1895	—	240	8	2 500	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Heilsberg O/Pr.	1900	—	230	—	—	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Herford i. W.	1902	—	250	—	—	K. u. L.	—	Mit Sauggasaushilfe.
Hochstad a. Main	1902	—	240	—	2 000	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.

Ort	Jahr der Betriebseröffnung	Gefälle m	Leistung PS.	Kraftübertragung Entfernung km	Kraftübertragung Spannung Volt	Verwendung Ü.-Z. = Überlandzentrale K. u. L. = Kraft und Licht	Einheit der Turbinenzahl × PS.	Bemerkungen
Holzkirchen	1894	—	300	7	2 700	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Igersheim	1904	—	320	—	2 000	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Illachmühle b. Schongau	1901	—	325	16	5 000	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Ilshofen-Neubronn (Württemberg)	1899	—	120	—	3 000	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Jettingen	1904	—	320	—	—	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Kandern (Baden)	1896	—	240	—	2 000	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Kleinkötz (Schwaben)	1898	—	500	—	5 000	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Labitsch b. Glatz	1896	—	320	—	—	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Landsberg (Lech)	1891	—	280	—	2 200	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Laupheim (Württemberg)	1903	—	225	—	3 000	Ü.-Z.	—	Mit Sauggasaushilfe.
Lausitzer Elektrizitätswerke	1898	—	1 500	—	6 000 3 000	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Lindenberg i. Allgäu	1893	—	225	—	2 000	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Lottin	1904	—	675	—	7 650	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Marburg (Bez. Cassel)	1906	—	210	—	—	K. u. L.	—	Mit Sauggasaushilfe.
Marktheidenfeld a. M.	1898	—	210	—	5 000	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Markt Oberdorf i. Bayern	1903	—	180	—	3 500	K. u. L.	—	Dieselmotoraushilfe 100 PS.
Meschede i. W.	1904	—	300	—	—	K. u. L.	—	
Miesbach i. Bayern	1896	—	400	5	3 600	Ü.-Z.	—	Mit Dieselmotoraushilfe.
Nagold	1893	—	210	—	5 000	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Neunburg	1896	—	120	—	—	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Nossen	1897	—	250	—	—	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Noßwitz	1895	—	350	—	—	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Partenkirchen	1893	—	300	—	2 000	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Pfullingen (Reutlingen)	1894	—	410	12	2 000	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Raisdorf i. Holstein	1904	—	750	—	5 500	Versorgung von Kiel. Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Reinbeck i. Holstein	1899	—	250	—	—	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Riebingen i. Württemberg	1903	—	1 350	—	3 000	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Rottenburg a. Neckar	1903	—	200	—	—	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Saarburg i. Lothringen	1900	—	270	—	—	K. u. L.	—	Mit Gasaushilfe.
Salzungen a. Main	1894	—	300	—	—	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Schkeuditz b. Leipzig	1901	—	240	—	—	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe. Der Strom wird an die Stadt geliefert, die ihn an die Abnehmer weiter verkauft.
Schlenke	1899	—	1 300	—	—	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Schönberg i. Schlesien	1904	—	120	—	—	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Sigmaringen	1893		420	5	1 100	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.

Singen (Baden)	1895	—	300	—	—	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Sonthofen (Bayern) . . .	1897	—	300	10	5 200	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Tettnang (Württemberg) .	1895	—	270	6	2 000	K. u. L.	—	Mit Dampf- und Dieselmotor-aushilfe.
Überkingen.	1898	—	120	—	—	K. u. L.	—	Mit Dampf- und Dieselmotor-aushilfe.
Waiblingen.	1905	—	250	2	2 100	K. u. L.	—	Mit Dieselmotoraushilfe.
Weißach-Tegernsee (Bayern)	1897	—	270	—	3 000	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Wellspeng (Schleswig) . .	1904	—	320	—	—	Ü.-Z.	—	Mit Dampfaushilfe.
Wolfrathausen.	1898	—	300	—	3 000	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe.
Schweinfurt	1905	2,50	800	9 km Leit.-Netz	3 000	K. u. L.	—	Mit Dampfaushilfe von 800 PS. Dampfturbinen.
Hannover	1899	2,15	170	- -	—	Wasserhebung.	4 × 43	S. S. 297.
Saarbrücken	1895	2,0	200	—	—	Hafenbetrieb und Wasserhebung.	2 × 100	Mit Dampfaushilfe, s. S. 372.
Hastedt a. d. Weser . . .	—	bis 6 m	bis 12 000	—	—	K. u. L. für Bremen.	—	Mit Dampfaushilfe von 6000 PS. Leistung, s. S. 376.
Marklissa i. Schlesien . .	1907	26,0	2 100 später 3 500	—	10 000	Ü.-Z. für die Städte u. Dörfer der Umgegend. Verbunden mit dem Niederschlesischen Elektrizitätswerk Waldenburg zur Unterstützung in Trockenzeiten.	3 × 700	Das Hochwasserschutzbecken von Marklissa ist 15 Mill. cbm groß, davon stehen 5 Mill. cbm für Kraftzwecke zur Verfügung[1]).

Bem. In die vorstehende Tabelle sind im allgemeinen nur aufgenommen die Werke mit reinem Wasserkraftbetrieb von 100 PS. Leistung und diejenigen Werke über 200 PS. Leistung, bei denen die Wasserkraft in erster Linie Betriebskraft ist.

Die Statistik nach dem Stande vom 1. April 1907 gibt für Deutschland 562 öffentliche Elektrizitätswerke mit einer Gesamtleistung von rd. 196 000 PS. an, die mit Wasserkraft und zum Teil mit anderweitiger Kraftaushilfe betrieben werden. Die Gesamtleistung aller öffentlichen Elektrizitätswerke betrug 993 000 PS.[2]). Bei der Gewerbezählung vom Jahre 1895 wurden als Kraftleistung der im Gewerbe verwendeten Motoren unter der Annahme regelmäßigen Betriebes rd. 3 428 000 PS. festgestellt. Von diesen Betriebskräften lieferte der Dampf 79,4 v. H., das Wasser (629 000 PS.) 18,4 v. H., beide Betriebsarten zusammen also 97,8 v. H. aller Betriebskräfte unserer Fabriken[3]). In Preußen waren 1898 vorhanden: 19 567 Wasserkraftwerke mit einer Gesamtleistung von 219 500 PS. Die mittlere Einzelleistung der Werke betrug 11,2 PS. An Dampfkraftwerken waren 35 346 im Betriebe mit 1 915 822 PS. Gesamtleistung und 54,2 PS. mittlerer Einzelleistung[4]). Die Statistik nach dem Stande vom 1. April 1906 gibt für alle Dampfmaschinen in Preußen (feststehende Dampfmaschinen, Lokomobilen, Dampfmaschinen auf Binnenschiffen und Seeschiffen mit Ausnahme der Eisenbahnlokomotiven und der vom Landheer und der Kriegsflotte benutzten Maschinen) eine Leistungsfähigkeit von rd. 5 795 000 PS. an.

1) Beschreibung Zeitschr. f. Bauwesen 1908 S. 401. 2) E. T. Z. 1908. 3) W. Müller, Francis-Turbinen. 4) Statistik des Deutschen Reiches.

Die Gesamtanlagekosten mit Grunderwerb und Elektrizitätswerk betragen 4062000 Mk.[1]).

Das Elektrizitätswerk wurde im Jahre 1903 in Betrieb genommen. Entwurf und Oberleitung lag in den Händen des Geh. Regierungsrates Prof. Dr.-Ing. Intze. Die örtliche Bauleitung bei den Maschinenanlagen hatte Direktor Klose, bei den Talsperren, hydraulischen und sonstigen Bauanlagen der Verfasser dieser Schrift[2]).

Anfänglich waren im Kraftgebäude an der Wupper 4 Turbinen aufgestellt von je 300 PS. mittlerer Leistung, und zwar 2 Niederdruckturbinen für 5 m Gefälle und 2 Hochdruckturbinen für 50 m mittleres Gefälle,

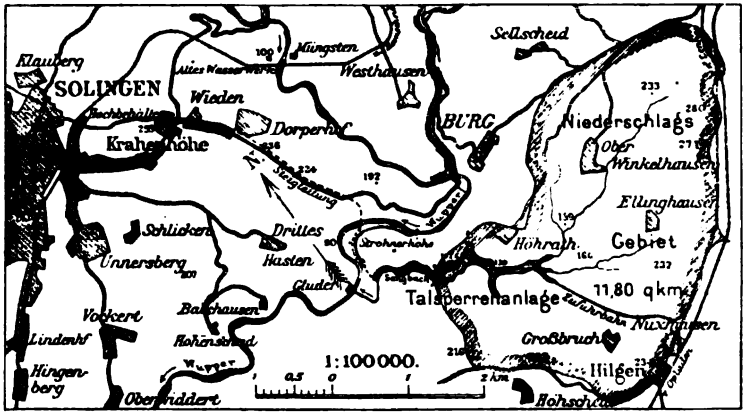


Abb. 237. Übersichtskarte des Wasser- und Elektrizitätswerkes der Stadt Solingen.

davon diente je eine dem Pumpen- und elektrischen Betrieb (Abb. 127 u. 128). Bereits im zweiten Betriebsjahre wurde infolge des ständig steigenden Stromverbrauchs und aus Gründen einer gesteigerten Betriebssicherheit der Einbau einer dritten Wupperturbine von 350 eff. PS. für elektrische Energieerzeugung beschlossen. Mit dem Einbau dieser Turbine war die Wasserkraftanlage voll ausgebaut und die Verwaltung sah sich genötigt, ihr Augenmerk auf die Erweiterung der Betriebsmittel durch eine Dampfzentrale zu richten. Da die Stadt Solingen in der Straßenbahnzentrale ein mit Dampf betriebenes Elektrizitätswerk besaß,

1) Genaue Kostenaufstellung s. S. 402.

2) Eingehende Beschreibung Zeitschr. für Bauwesen 1904. S. auch Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1906 S. 732.

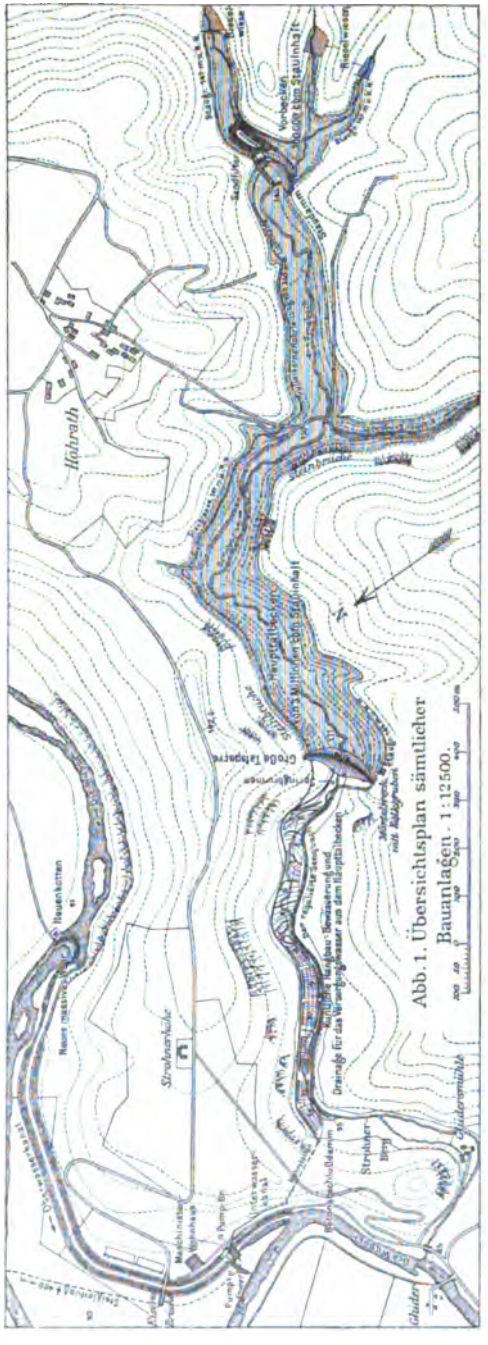


Abb. 238. Lageplan der Talsperren- und Wasserkraftanlage der Stadt Solingen.

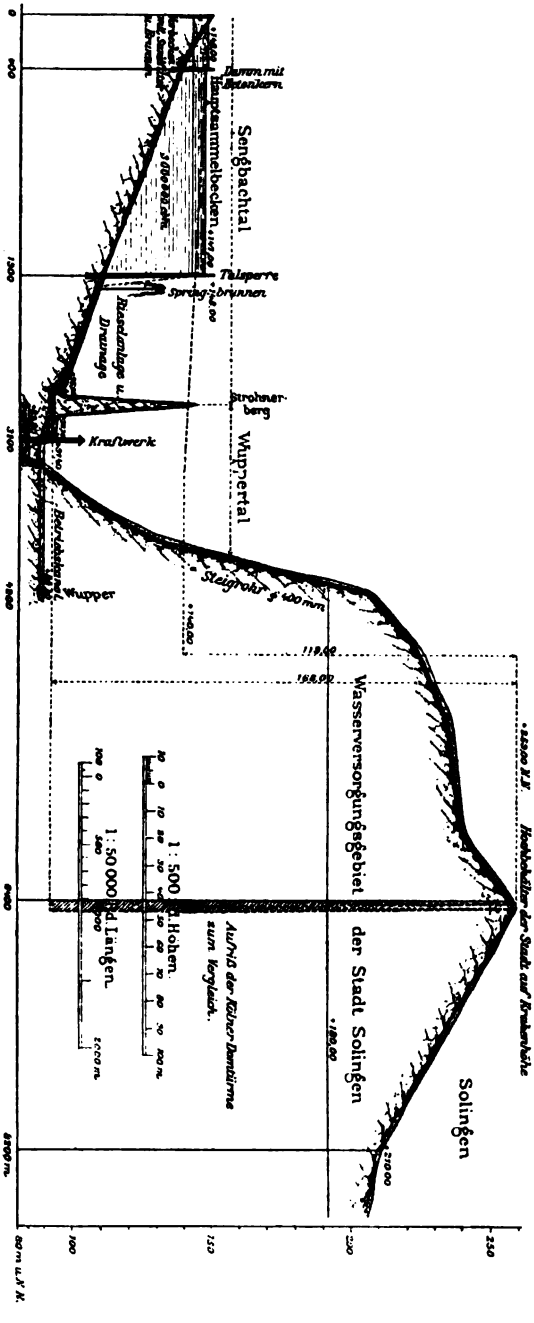


Abb. 239. Höhenplan der Talsperren- und Wasserkraftanlage der Stadt Solingen.

so konnte durch eine Kabelvereinigung dieser beiden Werke, deren Entfernung etwa 7 km beträgt, eine gegenseitige Aushilfe geschaffen werden. Die Bahnzentrale wurde zu diesem Zweck in eine Umformerstation umgewandelt, in der der hochgespannte Drehstrom (5 300 Volt) des Talsperrenkraftwerkes für den Straßenbahnbetrieb in Gleichstrom umgeformt wird. So gelang es, die geringe Tagesbelastung des Werkes in

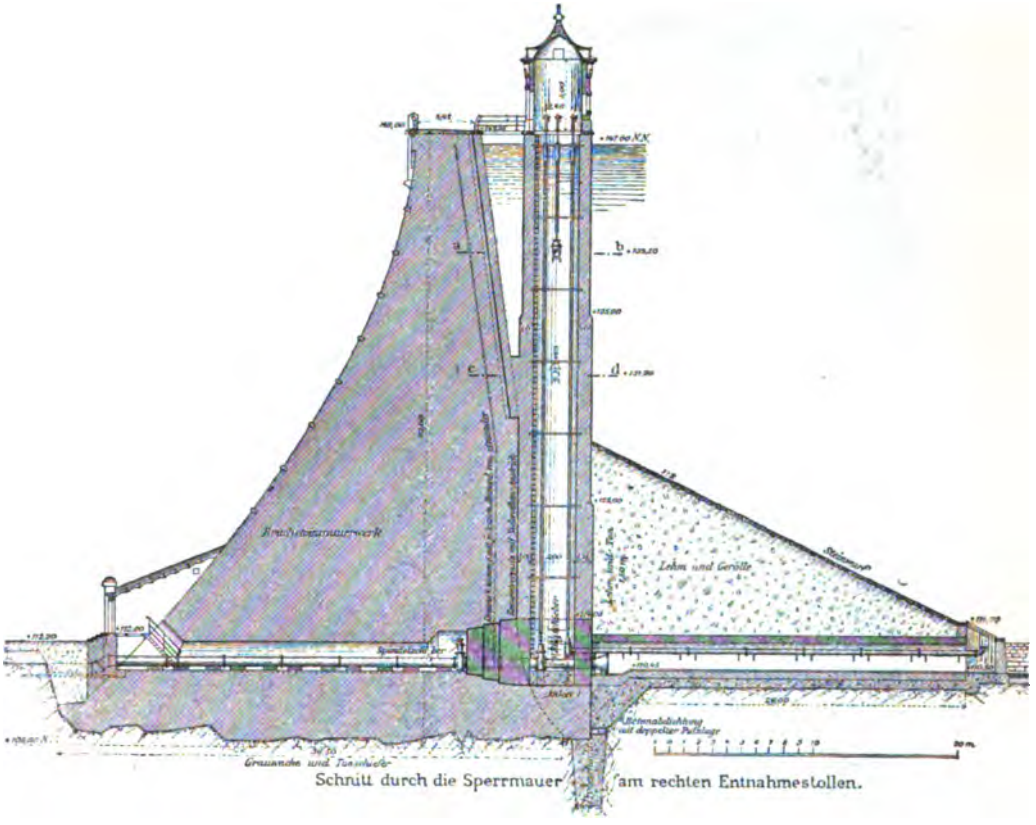


Abb. 240. Querschnitt der 43 m hohen Solinger Talsperre mit Entnahmeturm und Rohrstollen für die Trinkwasser- und Kraftwasserrohre.
Mittleres Gefälle nach den Turbinen 50 m.

Glüder zu vergrößern und die Wasserkraft zweckmäßiger auszunutzen. Gleichzeitig wurde, um im Falle von Wassermangel eine Unterstützung des hydro-elektrischen Werkes zu ermöglichen, im Dampfwerk die Maschinenanordnung so umgeändert, daß der dort aufgestellte Drehstrom-

Abb. 241. Die Talsperre im Sengbachtale für die Trinkwasser- und Kraftversorgung der Stadt Solingen.

motor — als Generator wirkend — das Hochspannnungsnetz für Kraft- und Lichtzwecke speist. Die Wasserkraftanlage wird dadurch um eine Leistung von 100 KW. verstärkt. Zum weiteren Ausgleich des Wechsels im Strombedarf ist die im Dampfwerk vorhandene Akkumulatorenbatterie auf die doppelte Leistungsfähigkeit gebracht [1]). Das Kabelnetz hat im Jahre 1905 ebenfalls eine bedeutende Erweiterung erhalten [2]). Die Aufstellung einer 1000 PS. Dynamo-Maschine ist im Jahre 1908 erfolgt.

Wie in dieser Solinger Anlage, so hat auch in dem nachstehend be-

Abb. 242. Die Talsperre der Stadt Nordhausen im Bau. September 1904.

schriebenen Werk sich in günstiger Weise eine Betriebsgemeinschaft zwischen einer Wasserkraft- und Dampfzentrale schaffen lassen.

Die Talsperre der Stadt Nordhausen a. Harz im Langentale bei Neustadt u. H. (Abb. 242 u. 243), die erste neuzeitliche Sammelbeckenanlage im Harz, erfüllt wie die vorbeschriebene Anlage den doppelten Zweck der Trinkwasserversorgung und der Kraftgewinnung. Das Staubecken, das durch eine rd. 28 m hohe Sperrmauer abgeschlossen wird, hat einen Stauraum von 770000 cbm und eine mittlere Zuflußmenge von rd. 3 Mill. cbm im Jahre [3]). Das von der Talsperre nach der Stadt Nord-

1) Über die Betriebsergebnisse des Werkes s. Absch. IV B.

2) Nach Angaben der Direktion der städt. Wasser- und Elektrizitätswerke.

3) Über die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse vergl. Tab. 9 und die Ausführungen S. 106. Die Ertragsberechnungen s. S. 417.

hausen vorhandene Gefälle ist am Hochbehälter in der Nähe der Stadt gebrochen und unmittelbar oberhalb dieses Hochbehälters ist das Kraftwerk angelegt, das eine Gefälle von 192 m ausnutzt und für eine Leistungsfähigkeit bis 170 PS. ausgebaut ist. Es ist dies, soviel bekannt, das größte bisher in Deutschland nutzbar gemachte Gefälle. Das Kraft- und zugleich Trinkwasser wird der Turbine durch eine 11 km lange Rohrleitung von 40 cm l. W. zugeführt (Abb. 244)[1]). Die Abströmung aus der Turbine erfolgt nach dem Hochbehälter, von wo aus sich das Wasser in das Leitungsnetz der Stadt verteilt. Zwischen dem Kraftwerk und dem

Abb. 243. Die Talsperre der Stadt Nordhausen am Harz für Trinkwasser- und Kraftgewinnung.

Hochbehälter ist die Möglichkeit der Einschaltung eines Filters offen gehalten, falls die Reinigung des Talsperrenwassers für Trinkzwecke, die wegen der Bewaldung des Niederschlaggebietes und der vorzüglichen Beschaffenheit des zufließenden Wassers gegenwärtig unterbleibt, später etwa notwendig werden sollte. Das Wasser hat sich jedoch im bisherigen Betriebe ohne Filterung als gut und hygienisch einwandfrei erwiesen.

In dieser doppelten nacheinander geschalteten Ausnutzung des

1) s. S. 211.

Wassers für die beiden Zwecke der Trinkwasser- und Kraftgewinnung liegt die Eigenart der getroffenen Anordnungen und die im Hochbehälter erfolgende Ausgleichung des verschiedenartigen Bedarfs an Wasser des Kraftbetriebes und der Trinkwasserversorgung stellt grundsätzlich jenen

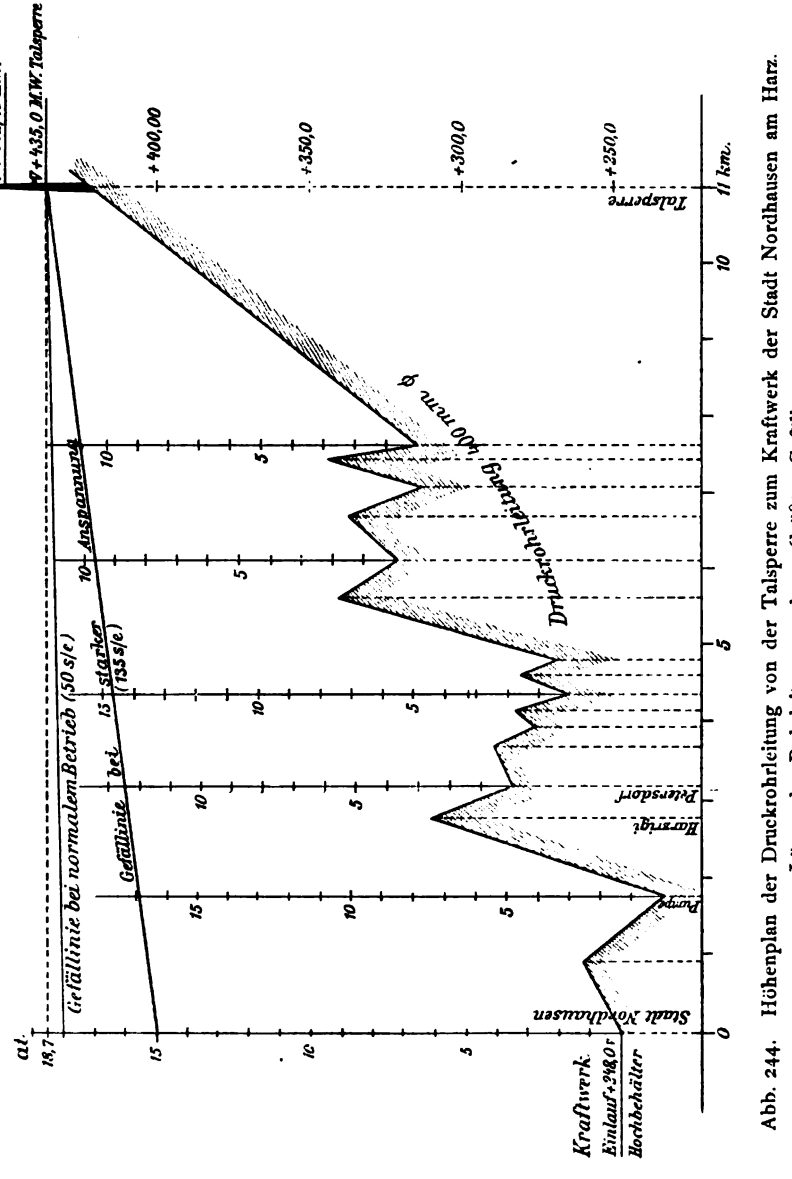


Abb. 244. Höhenplan der Druckrohrleitung von der Talsperre zum Kraftwerk der Stadt Nordhausen am Harz. Länge der Rohrleitung: 11 km. Größtes Gefälle: 192 m.

Vorgang dar, wie er neuerdings für die Ausgleichung verschiedenartiger Interessen an der wirtschaftlichen Ausnutzung des Wassers von Golwig in Vorschlag gebracht ist [1]). Die Kraft wird in elektrische Energie umgesetzt und dient im Verein mit einem in Nordhausen vorhandenen Dampf-Elektrizitätswerk zur Beleuchtung des Staatsbahnhofes Nordhausen, für Straßenbahnbetrieb und für Kraft- und Lichtzwecke.

Die Gesamtkosten haben nach der Ausführung betragen:

1.	Für die Talsperre einschl. Grunderwerb, Entschädigungen, Wegeverlegungen, Abräumung des Talbodens usw.	800000
2.	Rohrleitung von der Talsperre bis zum Kraftwerk auf dem Geiersberge einschl. Kraftgebäude	410000
3.	Maschineneinrichtung des Kraftwerkes und Fernübertragung nach der Zentrale in der Stadt	50000
	zus.	1 260000

Mit der Füllung des Staubeckens wurde im Winter 1905/06 begonnen, die Kraftanlage ist im Herbst 1906 in Betrieb genommen. Der Wasserversorgungs- und Kraftbetrieb ist ein zufriedenstellender. Abgesehen von Rohrbrüchen in den ersten Monaten nach Inbetriebnahme hat die Rohrleitung einen guten Bestand gezeigt. Es ist daraus ersichtlich, daß die Sicherheitseinrichtungen in zweckmäßiger und ausreichender Weise getroffen sind gegenüber den in der Rohrleitung auftretenden Druckschwankungen.

Die Aufstellung des der Ausführung zu Grunde liegenden Entwurfs der Talsperrenanlage und ihr Bau erfolgte unter der Oberleitung des Verfassers dieser Schrift, der auch bei dem Ausbau der Hochdruckleitung und des Kraft- und Elektrizitätswerkes, sowie bei den Verhandlungen für die Kraftverwertung der Stadt Nordhausen als beratender Ingenieur zur Seite stand. Die Ausführung des maschinellen Teiles erfolgte durch die Firma Brigleb, Hansen u. Co. Bei dem Entwurf des Peltonrades und seiner Sicherungen wirkte Geh. Rat Prof. Pfarr mit. Die elektrischen Einrichtungen lieferte die oben erwähnte Elektrizitätsgesellschaft.

1) S. Österr. Wochenschr. f. d. öff. Baud. 1907 S. 190.

Leitende Gesichtspunkte für die deutsche Wasserkraftverwertung.

Es darf nicht wundernehmen, daß in den ersten Jahren der Bestrebungen für die bessere Nutzbarmachung der Wasserkräfte eine Gegenströmung entstand. Man sprach von »überschwenglichen Hoffnungen« und von einer »Übertreibung des hohen wirtschaftlichen Wertes der Wasserkräfte« und bezweifelte überhaupt das Vorhandensein der nötigen Wasserkräfte für den Bedarf des Großbetriebes. Indem man die so ungewöhnlich günstig nutzbaren und reichen Wasserkräfte Amerikas zum Vergleich heranzog, suchte u. a. Riedler[1]) nachzuweisen, daß selbst unter jenen vorteilhaften Umständen die Dampfkraft sich billiger stellt und der Wasserkraft überlegen ist. Man folgerte daraus weiter, daß unter unseren deutschen Verhältnissen nur in Ausnahmefällen der Boden für Wasserkraftanlagen gegeben sei. Die Riedlersche Auffassung hätte bei der alten Gebundenheit der Wasserkräfte an abgelegenen, wirtschaftlich bedeutungslosen Plätzen vielleicht Recht bekommen. Aber die überraschende Entwicklung der elektrischen Fernübertragung hat heute diese Anschauungen widerlegt. Man darf allerdings nicht so weit gehen, von einer wirtschaftlichen Umwälzung durch die Ausnutzung der Wasserkräfte zu sprechen. Aber die Tabelle 88 erweist es, daß auch in Deutschland ansehnliche Kraftgrößen erschlossen werden können, die neben der Dampf- und anderer Wärmekraft den wachsenden Bedarf nach mechanischen Arbeitsleistungen decken helfen.

Allgemeine Gesetze der Erkenntnis müssen die Richtung für ein systematisches Vorgehen geben. Darum darf man sich die Frage vorlegen, welche leitenden Gesichtspunkte die zwanzigjährige Bewegung für die Nutzbarmachung der Wasserkräfte hat erkennen lassen.

Es ist ihr Verdienst, die Aufmerksamkeit der Allgemeinheit auf die Wasserwirtschaft im Gebirge und ihren Zusammenhang mit einer einheitlichen Wasserwirtschaft der ganzen Stromgebiete hingewiesen zu haben. Neben der Bedeutung der Wasserläufe für das Meliorationswesen und die Schiffahrt, ist das wirtschaftliche Moment der produktiven Arbeit des Wassers in den Vordergrund gerückt. Die Wasserläufe verlangen nicht nur Aufwendungen zu ihrer ordnungsmäßigen Erhaltung; man hat gelernt, neue Werte aus ihnen zu gewinnen und mechanische

1) Studien über Kraftverteilung, Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1892.

Leistungen zu erschließen, die in der Landwirtschaft, Industrie und für die Schiffahrt wertvolle Verwendung finden können. Das Wesen der elektrischen Kraftübertragung und -verteilung ist auch bei uns mehr erkannt und damit hat man das eigentliche Wirschaftsgebiet der Wasserkräfte gefunden.

Die Erfahrung hat aber auch gelehrt, daß die Absatzmöglichkeit einer im Gebirge oder an den Wasserläufen neu erschlossenen Kraft nicht immer ohne weiteres gegeben ist. Wenn in den Tälern am Rhein die Wasserkräfte leichten Absatz finden und immer neue Wasserkraftunternehmungen von diesem lebhaften Bedarf Zeugnis ablegen, so darf man in anderen gewerblich weniger entwickelten Gegenden Deutschlands darauf nicht immer sogleich rechnen. Eine Reise durch das industriereiche bergische Land und durch die Vorgebirgsbezirke des Riesengebirges im Hirschberger Tale regt in dieser Hinsicht unwillkürlich zu vergleichenden Betrachtungen an. Beide Gegenden haben in dem Aufbau ihrer Berge und Täler mit ihren Wasserläufen viel Ähnlichkeit miteinander. Die landwirtschaftliche Ertragfähigkeit scheint auf gleicher Höhe zu stehen. Wie grundverschieden aber ist das Bild des sonstigen Wirtschaftslebens. Im bergischen Land das Bild reichster gewerblicher Betätigung und eines guten Wohlstandes — im Hirschberger Bezirk der rein landwirtschaftliche Betrieb: einzelne Güter, dazwischen die große Zahl kleiner einfacher, um nicht zu sagen dürftiger Wohnstätten. Dort hat die Bevölkerung verstanden, die natürlichen Wasserkräfte der gewerblichen Arbeit nutzbar zu machen. Die gleiche Quelle des Wohlstandes bieten die Wasserkräfte im Vorlande des Riesengebirges. Nur ist hier der Gedanke, durch ihre Verwertung die Grundlage zu gewerblichem Leben zu schaffen, noch kaum aufgekommen. Die Nachfrage nach mechanischen Arbeitsleistungen ist hier noch gering und dies legt einer kräftigen Entwicklung der Wasserkraftnutzung im engeren Bezirk Hemmung an. Ähnlich krankt der Kraftabsatz in anderen Gegenden, wo die Erschließung der Wasserkräfte das Einflußgebiet wirtschaftlich noch wenig vorbereitet findet. Der Absatz mechanischer Kräfte erfordert eine betriebstätige Bevölkerung, in der der Sinn für gewerbliche Arbeit und industrielle Unternehmungen geweckt ist. Wir haben im Westen Deutschlands das zur Intensität gesteigerte Erwerbsleben einer dichten Bevölkerung, im Osten aber noch patriarchalische Anschauungen und das Hängen an Altgewohntem. Es ist in dieser Hinsicht nicht uninter-

essant, die französischen Verhältnisse zum Vergleich heranzuziehen, wie sie Salvador schildert (s. Abschnitt Frankreich). Jedenfalls sollten auch wir bemüht sein, für den steigenden Kraftbedarf der Landwirtschaft, die Beleuchtung der Wirtschaftsräume, den Betrieb der Kleinmaschinen, der Dresch- und Häckselmaschinen, Holzsägemaschinen, Schleifsteine, Buttermaschinen, Maschinen zur Erzeugung künstlicher Kälte u. a. m. die Wasserkräfte heranzuziehen. Der große Vorteil, den der Elektromotor der Industrie bietet — stete Arbeitsbereitschaft, einfache Bedienung, leichte Transportfähigkeit u. a m.[1]) — kommt auch in den landwirtschaftlichen Betrieben zur Geltung.

Wo aber unter ungünstigen Umständen am Gewinnungsort einer Wasserkraft oder in der unmittelbaren Nähe Absatz nicht zu finden ist, da sollte man nicht scheuen, weitere Übertragungsstrecken in Betracht zu ziehen, wie sie das Ausland mit Vorteil anwendet. Es scheint, daß auf dem Gebiet der elektrischen Fernleitung der Wasserkräfte unser Unternehmungsgeist leider noch zurücksteht. Wenn nach den Aufrechnungen vom Jahre 1897 an der Saar — inmitten eines Kohlenbezirkes — sich die Wasserkraft mit Dampfaushilfe bei 20 km Fernübertragung noch wesentlich billiger als die reine Dampfkraft stellte (Abschn. IV C), so kann man heute in andern, nicht mit Kohlenlagern ausgestatteten Landesteilen und bei den infolge der Vervollkommnung der Technik verringerten Verlusten der Übertragung sicherlich auf die doppelte Entfernung und mehr gehen und wird trotzdem mit städtischen, dampfbetriebenen Elektrizitätswerken wettbewerbfähig bleiben.

Der Gedanke, die Wasserkräfte in größerem Umfange für Staatszwecke nutzbar zu machen, ist neuerdings auch in Deutschland in Anregung gebracht. Einzelkraftanlagen, die staatlichen Zwecken dienen, sind heute schon vorhanden. Es sei hier erwähnt das Kraftwerk am Hafen bei Kehl a. Rh., das in badischer Verwaltung steht und der Bahnhofsbeleuchtung und dem Hafenbetrieb in Kehl dient. Ein weiteres Beispiel ist das oben beschriebene Talsperren-Kraftwerk der Stadt Nordhausen a. H. Bayern aber beabsichtigt Beschlag auf die oberbayrischen Wasserkräfte zu legen[2]). Die natürlichen, in den Seen vorhandenen

1) s. S. 405 u. f.

2) S. die im Jahre 1907 erschienene sehr ausführliche Denkschrift der Bayerischen Staatsregierung: Die Wasserkräfte Bayerns. Im Auftrage des K. Staatsministeriums des Innern bearbeitet von der K. Obersten Baubehörde. München 1907. Auszug s. Zentralbl. d. Bauverw. 1908 S. 41. Vergl. auch: v. Donat, Die Kraft der Isar.

Ausgleichweiher und die hohen Gefälle lassen dort so bedeutende Kraftleistungen erschließen, daß man plant, damit den elektrischen Betrieb aller südbayrischen Bahnen zu versorgen. Das würde einen bedeutenden Schritt auf dem Wege zur Verstaatlichung der Wasserkräfte in Deutschland bedeuten. Man erkennt überhaupt in Süddeutschland heute mit weitem Blick die Notwendigkeit, die Nutzbarmachung von Naturschätzen der Allgemeinheit vorzubehalten, schon wegen ihres monopolartigen Charakters. Aber die Staatsverwaltungen werden durch solches Vorgehen auch den Nachteil vermeiden, die hydroelektrischen Werke späterhin zu hohen Preisen zurückerwerben zu müssen.

Aus der Tabelle 88 ist ersichtlich, daß schon heute die Wasserkraftausnutzung im Betriebe deutscher Bahnen Fuß gefaßt hat und ihre Bedeutung für den Schiffahrtsbetrieb in Deutschland ist in Absch. IIIE erörtert worden.

Die Wasserkraftunternehmungen sind meist von großer wirtschaftlicher Tragweite, sie umfassen bei den neueren Talsperrenanlagen oft das Interesse eines ganzen Flußgebietes. Die Kraft des Einzelnen reicht darum nicht aus, um solche Werke ins Leben zu rufen. Oft auch hat der Einzelne nicht den Bedarf für die ganze gewonnene Kraft. Die Verteilung auf viele Schultern erleichtert die Last. Man hat deswegen den Weg der Genossenschaftsbildung eingeschlagen. In einem solchen Vorgehen liegt zugleich das wirtschaftliche Gesetz der Verbilligung der Einheitskosten, wie in jeder Großunternehmung. Langwierige Verhandlungen bei den Vorarbeiten für die ersten deutschen Unternehmungen dieser Art haben erwiesen, daß diese Aufgabe im allgemeinen nicht im Wege des freiwilligen Zusammenschlusses der Nächstbeteiligten gelöst werden konnte, sondern daß nur zwangsweise Vereinigung zu Genossenschaften auf gesetzlicher Grundlage und Mehrheitsbeschlüsse zum Ziele führten. Die Gesetzgebung hat daher wiederholt in diese Entwicklung der deutschen Talsperren- und Wasserkraftunternehmungen eingreifen müssen[1]). Eine Ausnahme ist die Gründung des Ruhrtalsperrenvereins, der durch freiwilligen Zusammenschluß der Pumpwerke und Wassertriebwerke an der Ruhr entstanden ist, um Sammelbecken zu errichten für die Abgabe von Betriebswasser an die Werke im oberen Ruhrgebiet und für den Ersatz des von den Wasser-

1) Gesetz vom 19. 5. 1891 und vom 18. 4. 1900, betreffend die Bildung von Wassergenossenschaften.

werken an der unteren Ruhr fortgepumpten Wassers. Eine freiwillige Vereinigung ist auch die Rurtalsperrengesellschaft in der Eifel (s. Abschnitt IV B). Die Gesetzgebung auf dem Gebiete des Wasserrechts ist in letzter Zeit durch Gesetze bzw. Aufstellung von Gesetzentwürfen in Bayern[1]), Sachsen[2]), Baden[3]) und Preußen gefördert worden.

In technischer Hinsicht hat man die Notwendigkeit der genauen Kenntnis des Wasserabflusses und des Wasserausgleichs durch Aufspeicherung in den Gebirgstälern erkannt. Schweizerische, französische und amerikanische Kraftanlagen sind zum Teil in der glücklichen Lage, daß sie ihren Wasserbedarf aus sehr hohen Gebirgen beziehen. Die Schneeschmelze der Gletscher und ausgiebige Niederschläge sichern diesen Werken ein gutes Gleichmaß der Wasserführung. Wir besitzen nur in Oberbayern zum Teil ähnliche günstige Verhältnisse und der Rhein dankt seinen verhältnismäßig hohen Wasserstand zur Sommerzeit der Speisung aus dem Gletschergebiet der Alpen. Bayern, Ost- und Westpreußen haben einige Seen, die sich zur Wasseraufspeicherung und -ausgleichung eignen. Im übrigen aber sind unsere Wasserkräfte in der »houille verte« der Mittelgebirge und im mittleren Laufe der Flüsse zu suchen. Die Aufgabe, die der deutsche Ingenieur im Gebirge zu lösen hat, ist der künstliche Aufstau großer Wassermassen durch Absperrung der Täler und die Vereinigung hoher Gefälle auf einen Punkt, um in zentralen Kraftwerken solche Kraftgrößen zu schaffen, die Gewicht für das wirtschaftliche Leben haben und mit andern mechanischen Kraftleistungen wettbewerbfähig sind. In der Kraftausnutzung in Zentralwerken an den Talsperren liegt ein Moment, das mehr als bisher geschehen allgemein zugunsten des Talsperrenbaues — auch insofern er anderen Aufgaben dient — in den Vordergrund gerückt werden muß. Die Erträge dieser Wasserkräfte sind bei Sammelbeckenanlagen, die verschiedene Zwecke gemeinsam erfüllen, meist allein oder zum großen Teil imstande, die Verzinsung der angelegten Kapitalien und die Wirtschaftlichkeit des ganzen Unternehmens sicherzustellen.

Diese Vereinigung mehrerer Zwecke in den Wasseransammlungen der Talsperren ist ein Gesichtspunkt von besonderer Trag-

1) Bayerisches Wassergesetz vom 23. 3. 1907.
2) Das sächsische Wassergesetz ist im Sommer 1908 vom Landtage angenommen.
3) Der Entwurf ist im Frühjahr 1908 an den Landtag gelangt.

weite. Der Verfasser hat in seiner Schrift »Der Talsperrenbau und die deutsche Wasserwirtschaft«[1]) den Nachweis zu führen versucht, daß die sonst vielfach auseinandergehenden Interessen der Landwirtschaft einerseits und der Industrie, Schiffahrt und des Handels andererseits sich in der Nutzbarkeit der Talsperren in seltener und glücklicher Weise vereinigen. Dazu kommt die Förderung der allgemeinen Wohlfahrt durch die Abwehr der Hochwasserschäden infolge Zurückhaltung der Hochfluten. Seit jener Zeit (1902) hat Deutschland eine Anzahl solcher Talsperrenanlagen, die gemeinsame Aufgaben erfüllen, entstehen sehen. Und ihr Betrieb erweist die Zweckmäßigkeit des oben ausgesprochenen Grundgedankens. Andere derartige Unternehmungen sind zurzeit im Entstehen begriffen, wie die schlesischen Hochwasserschutzbecken, die zum Teil auch für die Kraftgewinnung ausgebaut werden, und die Talsperren im oberen Wesergebiet, die neben der Speisung des Rhein-Hannoverkanals dem Hochwasserschutz, der Kraftgewinnung und den Schiffahrtszwecken durch Aufhöhung des Niedrigwassers in der Weser dienen werden[2]).

Zwei Anlagen, aus denen eine solche gemeinsame Wirkung für Trinkwasser- und Kraftgewinnung im einzelnen zu ersehen ist, sind auf S. 596 ff. beschrieben.

Wegen der vorbildlichen Bedeutung, die neben anderen Anlagen die schlesischen Talsperren nach ihren Betriebsergebnissen für diese ganze Frage voraussichtlich gewinnen werden, scheint es angebracht, auf diese eigenartigen Unternehmungen mit wenigen Worten einzugehen.

Für die Zurückhaltung der schadenbringenden Hochfluten sind in dem Gebiete der schlesischen Gebirgsflüsse 16 Sammelbecken mit einem Gesamtstauinhalt von rd. 90 Mill. cbm vorgesehen. Einige Becken sollen neben dem Hochwasserschutz auch der wirtschaftlichen Ausnutzung von Wasserkräften dienen, und es stehen von dem ganzen Stauraum für letzteren Zweck 25,3 Mill. cbm zur Verfügung, wovon auf die Anlagen von Marklissa und Mauer 5 und 20 Mill. cbm entfallen. Über die Größe der gewinnbaren Kräfte gibt die Tab. 86 Aufschluß. Die 16 Becken liegen in den Flußgebieten des Queis, des Bober, der Katzbach und der Glatzer Neiße und sperren ein Niederschlagsgebiet von zus. 2203 qkm ab.

1) Berlin 1902. S. 34.

2) Die Technik der Talsperren und ihre wirtschaftlichen Grundlagen werden vom Verfasser im III. Teil des Handbuchs der Ingenieurwissenschaften behandelt werden.

Die einzelnen Staubecken für die Zurückhaltung des Hochwassers sind nach der Maßgabe bemessen, daß die Mittelhochwassermengen dauernd zum Abfluß gelangen und nur die die Mittelhochwassermenge übersteigenden Massen, welche nach dem Ausbau der Gebirgswasserläufe die eigentliche Schadenwelle darstellen, angesammelt werden. Dabei ist den Ermittlungen das Hochwasser vom Juli 1897 zugrunde gelegt worden. Neben Sammelbecken mit hohen Sperrmauern in den tief eingeschnittenen Tälern werden flache Becken mit niedrigen Verwallungen — im Vorlande des Hochgebirges liegend — hergestellt.

Für die unschädliche Abführung der in den Sammelbecken nicht zurückgehaltenen Wassermassen werden die Gebirgsflüsse derart reguliert, daß sie die mittleren Hochfluten bordvoll aufzunehmen vermögen. Dies ist geschehen durch Schaffung einheitlicher, dem Wasserabfluß angepaßter Querschnitte und durch Verminderung der Wassergeschwindigkeit in den Strecken mit übermäßig starkem Gefälle. Brücken, die den Durchfluß versperren, werden umgebaut, höher gelegt und erweitert, zu starke Krümmungen begradigt. Die Befestigung der Ufer erfolgt durch Ufermauern oder Böschungspflaster, die Ausgleichung zu starker Gefälle und die Festlegung der Flußsohle durch Kaskaden, Wehre und Grundschwellen. In den Quellgebieten der Gebirgsbäche werden Gerölltalsperren angelegt, um die bei Hochwasser herabkommenden Geröllmassen aufzufangen. Dieser Regulierungsausbau erstreckt sich auf das Gebiet der Lausitzer Neiße, des Bober, der Katzbach, der Weistritz, der Lose, der Glatzer Neiße und der Hotzenplotz.

Die Ausführung dieser Arbeiten ist gegenwärtig im Gange. Einige Sammelbecken (Marklissa, Buchwald, Herischdorf, Grüssau u. a.) sind fertiggestellt, andere, wie die Talsperre bei Mauer, in der Ausführung begriffen. Der Bau einer weiteren Zahl steht noch aus.

Der Versuch, den Gesamteindruck einer schlesischen Gebirgsreise zusammenzufassen, muß dahin führen, hervorzuheben, daß bisher wohl noch nirgends sonst ein Unternehmen verwirklicht worden ist, das mit so großen technischen Mitteln den Hochwasserschutz gefährdeter Gebirgstäler anstrebt. Es bekundet sich hier ein systematisches Vorgehen, ein ganzes Gebirgsgebiet nach einheitlichen Grundsätzen auszubauen.

Diese schlesischen Bäche sind an sich unscheinbar, wenn man sie in gewöhnlichen Zeiten sieht, und machen im Vorgebirge vielfach den Eindruck von Flachlandflüssen. Man versteht nicht ohne weiteres ihre Ge-

fährlichkeit. Es findet sich dafür nur eine Erklärung, wenn man sich den sehr steilen Abfall des schlesischen Hochgebirges zu der vorgelagerten Ebene vergegenwärtigt. Dieser schroffe Wechsel veranlaßt in Regenzeiten die massig herabstürzenden Fluten.

Den Hauptteil des Hochwasserschutzraumes nimmt der Bober mit dem Queis in Anspruch. Hier ist fast das ganze im Hochgebirge liegende Quellgebiet abgefangen. Neben der örtlichen Wirkung der Hochwasserzurückhaltung wird hier auch ein wesentlicher Hochwasserschutz im mittleren und unteren Flußlaufe erwartet werden können. Das abgesperrte Gebiet an der Katzbach und der Glatzer Neiße ist wohl nicht groß genug, als daß die Sammelbecken mehr als einen örtlichen Schutz bieten könnten. An diesen Wasserläufen besteht der Hochwasserausbau mehr in einer Regulierung der Flußbetten.

Der Stauraum der schlesischen Sammelbecken ist nach Maßgabe ihrer oben mitgeteilten Bestimmung auf 6 bis 7 v. H. der Jahresabflußmenge bemessen. Dieser Raum genügt für die Abfangung der schädlichen Wassermengen der höchsten Hochfluten. Für die Kraftausnutzung sind davon in Marklissa 2 v. H., in Mauer etwa 3 v. H. vorbehalten. Die Talsperren in Rheinland und Westfalen und in anderen Gegenden haben einen Stauinhalt von 30 bis 40 v. H., die neue Remscheider Talsperre von 65 v. H. des Jahresabflusses erhalten. Nimmt man z. B. für die Talsperre von Marklissa mit ihrem 303 qkm großen Niederschlagsgebiet einen Stauraum von 25 v. H. des Jahresabflusses als ausreichend an zur Herstellung eines guten Ausgleichs des Wasserabflusses, so müßte dieses Becken bei einem mittleren Abfluß der Jahre 1901/03 von 229 Mill. cbm einen Inhalt von $229 \cdot 0{,}25 =$ rd. 57 Mill. cbm haben[1]).

Es findet also an den schlesischen Sammelbecken nur eine unvollkommene Verwertung der Wirtschaftszwecke des Wassers statt. Nach den örtlichen Untersuchungen sollen am oberen Queis noch geeignete Talengen zur Anlage von Talsperren vorhanden sein. Es ist zu hoffen, daß dies auch am Bober und an den anderen schlesischen Gebirgsflüssen der Fall ist. Dadurch wäre für spätere Zeit die Möglichkeit offen gehalten, fortschreitend mit der Entwicklung der Wasserwirtschaft im Gebirge durch staffelförmigen Ausbau der Talsperren entlang den Flüssen neben dem Hochwasserschutz die volle Ausnutzung des vorhandenen Wasserreichtums für Kraftzwecke zu erzielen.

1) s. S. 119.

Schon früher ist der hervorragenden Stellung gedacht, die die Zusammenfassung großer Gefälle in der neuzeitlichen Wasserkraftnutzung einnimmt. Wo aber nach der Gestaltung der Geländeverhältnisse die Konzentrierung großer Nutzgefällhöhen nicht möglich ist, wird doch immerhin der Ausgleich des Wasserabflusses mittels Sammelbecken eine Verstärkung des Kraftwassers der kleinen Triebwerke herbeiführen können. Bei einigen deutschen Anlagen haben sich diese beiden Zwecke in günstiger Weise vereinigen lassen (Urft- und Ennepetalsperre).

An den mittleren und kanalisierten Flußläufen wird als leitender Gesichtspunkt gelten müssen, die möglichste Vereinigung der Interessen der Schiffahrt und Landeskultur mit denen der Kraftausnutzung herbeizuführen.

Bei dem gegenüber anderen Ländern zurücktretenden Reichtum an großen für die Kraftgewinnung nutzbaren Wassermengen kommt es bei uns darauf an, durch geschickte bauliche Anordnungen und maschinelle Einrichtungen die äußerste Nutzwirkung zu erzielen.

Der wesentlichen Frage, ob in unseren Gebirgen geeignete Talbecken vorhanden sind, um den Aufstau in größerem Umfange zu ermöglichen, darf man nicht mit bangen Zweifeln entgegensehen. Je mehr im letzten Jahrzehnt das Bestreben auf dem Gebiet des Talsperrenbaues an Ausdehnung gewonnen hat, um so mehr ist in oft überraschender Weise die günstige Gestaltung der Formationen unserer Mittelgebirge für den Ausbau großer Staubecken zutage getreten. Die geplanten, zum Teil für die Ausführung gesicherten Talsperrenanlagen im Rhein- und Wesergebiet, an der Elbe und Saale, wie in Schlesien tun dies dar. Es hat sich z. B. nach vorläufigen Untersuchungen erwiesen, daß im Wesergebiet Sammelbecken mit einem Gesamtstauinhalt von 560 Mill. cbm angelegt werden können, darunter die Talsperre an der Eder mit einem Fassungsvermögen bis 220 Mill. cbm. Im Ruhrgebiet ist neben vielen anderen Sperren ein Becken von 130 Mill. cbm Stauraum an der Möhne im Bau. Gleich geräumige, für Talsperren geeignete Täler finden sich in den Zuflüssen der Elbe und der Oder, im Frankenwald (Bayern) und a. a. O. (s. auch Tab. 89).

Im Königreich Sachsen werden schon seit längerer Zeit Talsperrenanlagen für verschiedene Flußgebiete geplant. Besonderen Anlaß hierzu boten einerseits die Hochwasserschäden des Jahres 1897, die allein im

Gebiete des von Tharandt nach Dresden den sog. Plauenschen Grund durchfließenden Weißeritzflusses auf 9,4 Mill. Mk. beziffert werden, andererseits die lange Dauer des Wassermangels im Sommer 1904, worunter die zahlreichen, auf Wasserkraft angewiesenen gewerblichen Anlagen Schaden litten. Für das Weißeritzgebiet sind zwei Talsperren bei Malter und Klingenberg in Aussicht bzw. in Angriff genommen, deren Baukosten auf 9660000 Mk. veranschlagt sind. Die Ausführung erfolgt durch Bildung von Zwangsgenossenschaften. Die Zwangsgenossen sollen entsprechend den Vorteilen, die ihre Grundstücke und Triebwerke aus der Anlage der Sammelbecken ziehen, zu Beiträgen herangezogen werden. Daneben sollen dem Unternehmen die Garantie des Staates gewährt, billige Gelder zur Ausführung dargeliehen und Beiträge zu den Betriebs- und Unterhaltungskosten zugeschossen werden[1]).

An der Zwickauer Mulde sind 15 Gebiete als geeignet für Talsperrenanlagen ermittelt und für 4 Talsperren Entwürfe aufgestellt. Im Erzgebirge ist ein Sammelbecken im Schwarzbachtale geplant, weitere Becken sind in Aussicht genommen im Quellgebiet der Freiberger Mulde und im Triebischtale bei Meißen. Alle diese Talsperren dienen zur Aufhöhung des Niedrigwassers für Kraftzwecke. Für die Trinkwasserversorgung sind bereits einige Stauweiher in Sachsen vorhanden bzw. im Bau begriffen (Chemnitz, Plauen).

Auch in unseren Kolonien zeigen sich die Anfänge einer geregelten Wasserwirtschaft, und der Talsperrenbau kommt als förderndes Mittel in erster Linie in Betracht. Die Verhältnisse in Deutsch-Südwestafrika sind vor einigen Jahren untersucht worden, und es ist eine Reihe von Vorschlägen für die Errichtung von großen Staubecken gemacht[2]), die zum Teil der Verwirklichung entgegengehen. Fast in diesem ganzen Schutzgebiet ist die Möglichkeit einer ausgedehnten Bewirtschaftung nur durch die Schaffung beträchtlicher Wasservorräte gegeben, und dies kann nur durch die Anstauung der während der Sommermonate in den Flußläufen oft sehr reichlich ungenutzt abfließenden Regenwassermengen geschehen. Wenn somit in diesen Tropengegenden die landwirtschaftliche Bewässerung für die kulturellen Zwecke im Vordergrunde des Interesses steht, so sollen sich nach neueren Berichten doch auch der Wasserkraftnutzung nicht ungünstige Aussichten bieten, wie dies in

1) Zentralbl. d. Bauverw. 1904.
2) Rehbock, Deutsch-Südwestafrika.

Tabelle 89. Übersicht von Plänen und Entwürfen zu Wasserkraftunternehmungen in Deutschland.

Ort	Gefälle m	Leistung PS.	Bemerkungen
Mauer i. Schl.	25,0	9 600	Talsperrenkraftwerk für 20 Mill. cbm Stauinhalt. Ausführung ist beschlossen. Es ist eine Vereinigung des Betriebes mit dem Kraftwerk von Marklissa (s. S. 605) geplant derart, daß beide Werke in ein gemeinsames Leitungsnetz arbeiten können und daß eine Kraftmenge von 2000 K.W. von dem einen Kraftwerk zum andern unmittelbar übertragen werden kann.
Kraftwerk an der Saaletalsperre. . . .	—	Etwa 10 000 bis 20 000	
Kraftwerk an der Okertalsperre	48	1 200	Bei $14^1/_2$stündigem Betrieb an 300 Arbeitstagen jährlich. Eingehende Darstellung s. Jahrbuch für die Gewässerkunde Norddeutschlands. Besond. Mitt. B I Heft I Nr. 3.
Triebwerke an der Oker und Aller . . .	244	3 000	Während $14^1/_2$ Stunden an 300 Arbeitstagen.
Gesamtes Wesergebiet (ohne Hemfurter Sperre)	—	15 000*)	Nach den Aufrechnungen von Humann u. Abshoff. — Es werden im ganzen 30 Sperren mit einem Gesamtfassungsraum von 320 Mill. cbm und einem Kostenaufwande von 107 Mill. Mk. in Anregung gebracht (ohne Hemfurter Sperre). — *) Während 3000 Arbeitsstunden jährlich.
Hemfurter (Waldecker) Sperre	—	2 000 bis 3 000	Fassungsraum des Beckens 170 bis 220 Mill. cbm. Kosten 12,7 Mill. Mk.
Kraftwerke d. Bodetalsperren	199	27 000	Während 10 Stunden täglich.
Triebwerke im Bober- u. Queisgebiet (Schlesien)	—	9 000	Während 7200 Stunden jährlich.
Triebwerke an der Glatzer Neiße. . . .	—	3 000	Während 7200 Stunden jährlich.
Wasserkräfte am Masurischen Schiffahrtskanal	112	13 000	Nach Ermittlungen von Intze. Tag und Nacht verfügbar. Für die Ausführung genehmigt, allerdings ohne Kraftausnutzung, durch das Gesetz vom 14. Mai 1908 (G. S. S. 141).
Listertalsperre (Kreis Olpe)	26	300	Mit Staubecken von 22 Mill. cbm Inhalt.
Kierspetalsperre a. d. Volme.	—	—	Stauinhalt 12 Mill. cbm.
3 Talsperren im Frankenwalde	57 bis 77	12 000	

Ort	Gefälle m	Leistung PS.	Bemerkungen
Möhnetalsperre . . .	—	2 000	Staubecken 130 Mill. cbm. In der Ausführung begriffen.
Ostpreußisches Seen- und Flußgebiet . . .	Bei Nutzgefällen bis 97 m	47 000	Nach Ermittlungen von Intze.
Weserkanalisierung .	0,75—2,82	54 000	An 25 Wehren nach Berechnungen von Prüsmann. Ein Kraftwerk bei Hastedt für eine Leistung bis 12 000 PS. ist ausgeführt (s. S. 376), ein Werk für 3000 PS. bei Dörverden ist im Bau.
Mainkanalisierung . .	0,76—2,70	24 000	An 8 Wehren wie vor.
Oderkanalisierung . .	0,67—2,60	36 000	An 21 Wehren wie vor.
Moselkanalisierung .	0,64—2,50	50 000 bis 109 000	An 31—32 Wehren. Die Zahlen geben mittlere bis Höchstleistung an. Ein Kraftwerk für 200 PS. Leistung bei Saarbrücken ist ausgeführt (s. S. 372).
Westpreußen (Seen- und Flußgebiet) . . .	—	54 360	Gegenwärtig werden 5030 PS. ausgenutzt. Die Ausführung einer Kraftanlage von 1000 PS. Leistung an der Radaune bei Danzig für Elektrizitätserzeugung ist im Gange. Nach Ermittlungen von Holz.
Pommern (Seen- und Flußgebiet)	—	49 820	Gegenwärtig werden 7700 PS. ausgenutzt. Wie vor.
Leine (Wesergebiet) .	—	14 000	Es sind 61 Becken mit 115 Mill. cbm Gesamtstauraum in Anregung gebracht. Damit könnte neben der Kraftgewinnung die gleichzeitige Schiffbarmachung der Leine für 250 t-Schiffe erfolgen.
Bayern	—	700 000	Nach v. Miller stellen diese 700 000 PS. die wirklich nutzbaren Kräfte dar. Die Gesamtleistung der am Nordabhange der Alpen vorhandenen Wasserkräfte wird auf 2,5 bis 3 Mill. PS. geschätzt. In der Denkschrift der Staatsregierung in Bayern über die Wasserkräfte Bayerns sind die ausgenutzten Wasserkräfte des Landes zu 115 000 PS., die noch nutzbaren zu 330 000 PS. angegeben. Dieses sind allerdings Mindestleistungen, die während des ganzen Jahres vorhanden sind und die sich durch den Ausgleich des Wasserabflusses wesentlich erhöhen lassen.
Kraftanlage am Walchen- u. Kochelsee (Bayern)	200	56 000	Die obere Isar soll in den Walchensee mittels Tunnel geleitet werden und dieser See soll als Ausgleichbecken mit einem Stauraum von 255 Mill. cbm dienen. Das Kraftwerk am Kochelsee wird den Wasserspiegelunterschied der beiden Seen ausnutzen. Die verfügbare Wassermenge der Isar beträgt 50 cbm/sek., die des Rißbaches 20 cbm/sek.

Ort	Gefälle m	Leistung PS.	Bemerkungen.
Alzentwurf (Bayern)	100	45 000	Es soll die Überführung der Alzwassermengen zur Salzach mittels eines 20 km langen Stollens erfolgen, wodurch ein Gefälle von 100 m erschlossen wird. Siehe die Denkschrift: Die Wasserkräfte Bayerns. München 1907.
Rheinstrecke vom Fall b. Neuhausen bis zum Kaiserstuhlgebirge, und zwar:			
Laufenburg*)	13,1	50 000	*) Ausführung ist von Baden u. der Schweiz einer Privatunternehmung genehmigt. — Im ganzen können auf dieser Rheinstrecke mit 165 m Nutzgefälle rd. 430 000 PS. gewonnen werden (einschl. Rheinfelden). Nähere Mitteilungen s. Beiträge zur Hydrographie des Großherz. Baden, XII. Heft, 1906, u. Schweiz. Bauztg. 1906.
Rheinau	11,3	17 400	
Eglisau	6,4	11 600	
Wylen-Augst*) . . .	8,4	29 000	
Kembs . . . bei Klein-Landau . . Mühlhausen	23,1	60 000	
Außerdem in 12 Werken	96,1	243 000	
Großherzogt. Baden insgesamt	—	507 000	Von den 507 000 PS. (mittlere Leistung) werden 165 000 PS. als zunächst ausbauwürdig bezeichnet. Näheres s. »Die Großwasserkräfte des Großherzogtums Baden« in »Beiträge zur Hydrographie des Großherzogtums Baden«. 14. Heft. 1908. Vergl. auch Rehbock, Der wirtschaftliche Wert der binnenländischen Wasserkräfte.
davon			
im Schwarzwald . .	—	220 000	
am Neckar	—	24 000	
am Rhein (s. oben) .	—	263 000	

usw.

solchen Bezirken ohne weiteres verständlich ist, die für den Bau von Talsperren günstige Vorbedingungen aufweisen. Vorarbeiten nach dieser Richtung sind im Gange, besonders auch für Deutsch-Ostafrika.

Die Tabelle 89 bringt eine Zusammenstellung von Plänen und Entwürfen für Talsperren- und Wasserkraftunternehmungen, deren Ausführung zum Teil gesichert ist.

Wir stehen gegenwärtig inmitten dieser Aufwärtsbewegung. Die Öffentlichkeit nimmt daran regen Anteil und es ist bezeichnend, daß selbst die Tagespresse heute lebhaft die Wasserkraftfrage erörtert. Es ist erfreulich, daß diese Erkenntnis von der wirtschaftlichen Bedeutung der Wasserkraftnutzung in weite Kreise dringt. Dadurch ist die Gewähr gegeben, daß die allgemeinere praktische Betätigung auf diesem Gebiet nahe rückt.

Wir werden uns in der Verfolgung dieses Zieles hüten müssen, den Ausblick zu enge zu nehmen. Mit großer Auffassung müssen wir in die Zukunft schauen und in den Rahmen eines einheitlichen Systems alle unsere Arbeiten kleiden. Die neuerdings von der preußischen Re-

gierung angebahnte Bildung von Zweckverbänden der Uferstaaten für die einzelnen Stromsysteme der deutschen Flüsse zur Lösung gemeinsamer wirtschaftlicher Aufgaben bewegt sich in dieser Richtung. Die weitere Ausdehnung des Wirkungsgebietes dieser Stromverbände auf die benachbarten Staaten, wie Österreich, die Schweiz, Holland usw., erscheint als eine natürliche Folge dieses Vorgehens[1]).

Der Blick des Ingenieurs muß sich dabei loslösen von den kleinen Aufgaben des Tages und über Jahre und Jahrzehnte hinausschweifend für den Ausbau unserer Wasserkraftnutzung die Richtung festlegen, ohne der freien Entwicklung und dem Schaffen der Zeit Fesseln anzulegen. Solch ein großes Programm, das allein die vollkommene Ausbeute eines nationalen Gutes gegenüber der Verzettelung in planlose Einzelanlagen gewährleistet, läßt sich nur auf breiter Grundlage aufstellen, und dieser Gesichtspunkt einer zweckmäßig organisierten Wasserwirtschaft spricht auch in Deutschland bedeutend für die Nutzbarmachung der Wasserkräfte und des Talsperrenbaues im Gebirge für staatliche oder sonst der Allgemeinheit dienende Zwecke.

1) Vgl. die Ausführungen hierüber in des Verfassers Schrift: Der Talsperrenbau und die deutsche Wasserwirtschaft, Berlin 1902 (S. 81 ff.).

Register.

A.

Aareschlucht bei Meiringen 513.
Abdichtungsarbeiten für Druckstollen 168.
Abfluß, Beziehung zwischen Niederschlag und 67.
— geringster 81.
— Mindestmaß 81.
— mittlerer 81.
— aus den Turbinen 151.
Abflusses, prozentuales Verhältnis des Niederschlags und 63.
Abflußgeschwindigkeit 150.
Abflußgesetze 58.
Abflußhöhe 67.
Abflußjahr 66.
Abflußkoeffizient 53.
Abflußkurve 42.
Abflußmenge, sekundliche 52.
Abflußmengen, Berechnung 59, 62, 63.
— Ermittlung der Niederschlags- und 43.
— Schätzung 58.
— bei Nordhausen, Niederschlagshöhen und 66.
— im Östertal 83.
— in Ostpreußen, Regen- und 72.
— im Sengbachtale, Regenhöhen und 64.
— der Urfttalsperre 84.
Abflußmengenkurve 48.
Abflußmengenmessungen 42.
— an der Remscheider Talsperre 78.
— im Schwarzwald 70, 71.
— am Wehr 50.
Abflußverhältnisse 84.
Abflußvermögen 67.
Abflußvorgang, Darstellung 73.
— eines Hochgebirgs- und eines Mittelgebirgsflusses 73.
— in Mittelgebirgen 70.
Abgaben 408.
Ablagerung der Geschiebe und Sinkstoffe 164.
Ablagerungen 180.
Ableitung von elektrischer Energie ins Ausland 527.
Abnahmeversuche 281.
Abnehmer, Gemeinden als 408.
Absatz der Kraft 492.
Absatzmöglichkeit 404, 616.
Abschätzung des Kapitalwertes einer Wasserkraft 436.
Abschlußschieber 203.
Abschreibungen 410.
Absenkung des Wasserstandes 55.
Afrika, Deutsch-Ost- 627.
— Deutsch-Südwest- 624.
Ainsworth (British Columbia), Luftkompressionsanlage 241.
Akkumulator, Stauweiher als 412.
Akkumulatoren 323, 381.
Akkumulierung des elektrischen Stromes 95, 96.
Albbruck 225.
— Elektrizitätswerk 146.
— Papierfabrik 356.
— Stollen 177.
Albula-Werk, Betriebswassermenge 88.
»Aldegund«, Staustufe (Mosel) 496, 498.
Alfeld 589.
Alle, Schiffahrtskanal vom Mauersee nach der 492.
Alpenflußgebiete 69.
Aluminiumverbrauch in Hochspannungs-Kraftübertragungen 320.
Amerika 564.
— Förderung der Schiffahrt 564.
— Wasserkraftanlagen 573.
— Wasserkraftverwertung, wirtschaftspolitische Momente 583.
— Wasserwirtschaft 564.
— Sozialpolitiker 585.
— Städte, die mit hydro-elektrischer Kraft versorgt werden 576.
Amerikanische Kraftanlagen 399.

Anerkennungsgebühr 411.
Angriffe der Witterung 253.
Anlage, Gesamtwert der Wasserkraft 387.
— kleiner Weiher 92.
Anlagekapital, Verzinsung 409.
Anlagekosten 561.
— von städtischen Elektrizitätswerken 394.
— für die Gewinnung von Wasser- und Dampfkräften an der Mosel und Saar 496.
— Zinsen 408.
Anleitung für Bau und Betrieb von Sammelbecken 38.
Anmeldeformulare 405.
Anmeldung des Anschlusses 405.
Anschläge 402.
Anschneiden eines Sees mittels Tunnels 225.
Ansiedlungen um eine Wasserkraft 310.
Anstauung ohne Betriebskanal 130.
Anwachsen der Industrie 501.
Appenninen, Sammelbecken 543.
— Wasserkraftunternehmungen 542, 543.
Arbeit des Wassers, wirtschaftliches Moment der produktiven 615.
Arbeiten, geodätische 26.
Arbeitsleistungen, mechanische 243.
Architektur 285.
Argentinien 569.
Art und Sicherheit des Betriebes 384.
Atmosphärische Luft, Verwertung 503.
Auffassungen, wirtschaftliche 387.
Aufgabe von Rentabilitätsberechnungen 100.
— der Sammelbecken 74.
Aufhöhung des Niedrigwassers 123.
— der Seen 555.
Auflagerung der Druckrohrleitung 201.
Aufrechnungen, wirtschaftliche 8.
Aufschlagmengen 80.
— der Triebwerke 97.
Aufschlagwassermenge und Wassermangel, Zusammenhang zwischen 76, 77, 82.
Aufspeicherung, elektrische 96.
— durch Aufstau der Seen 226.
— Wasserausgleich durch 619.
Aufspeicherungsbecken 93.
Aufspeicherungswerke, hydraulische 762.
Aufstau, künstlicher 619.
— der Seen, Aufspeicherung durch 226.
Aufstauung an Wehren 129.
Aufstellung eines Wasserwirtschaftsplanes 99.
Ausbau der Hochdruckwerke 257.
— des Kraftwerkes 243.
Ausbau des Kraftwerkes für elektrische Zwecke 321.
— — — elektrischer 323.
— der Talsperren 622.
Ausbeute der Wasservorräte, systemlose 523.
Ausbildung des Unterbaues 249.
Ausdehnungsvorrichtungen 221.
— bei Rohrleitungen 202.
Ausführungskosten von Wasserkraftanlagen 392.
Ausgeführte Anlagen für Schiffahrts- und Kraftzwecke 371.
— Verteilungsnetze 350.
Ausgleich, künstlicher 70.
— durch Sammelbecken 362.
— des Wasserabflusses 70.
— der Wasserführung 86.
Ausgleichbecken, Wasserkraftanlagen mit 408.
Ausgleichende Wirkung der Moore und Sümpfe 71.
Ausgleichung der Gefällschwankungen 234.
— verschiedenartiger Interessen 614.
Ausgleichweiher 92, 108.
— am Betriebskanal 93.
— für Tagesausgleich, Größe 94.
Aushilfsanlage 362.
Ausland, Ableitung von elektrischer Energie ins 527.
Ausnutzung der Schleusengefälle 378.
— der Viktoriafälle des Zambesi 325.
— der Wasserkräfte, neuere Bestrebungen 501.
— — — durch Privatgesellschaften 583.
— — —, technische Grundlagen 42.
— — — mittels Tunnelanlagen 499.
— — — — — — Selbstkosten einer Pferdekraftstunde 499.
— — — wirtschaftliche Grundlagen 384.
— des Wassers, doppelte 248.
Ausrüstungen und Sicherungen an Druckleitungen 202.
Äußeres der Kraftwerke 286.
Australien 509.
Automatische Regulatoren 281.
Avignonet 130.

B.

Bachbetten, Regulierung 586
Baden 619.
Baggerbetrieb mittels Wasserkraft 509.
Bahnbetrieb, elektrischer 265.

Bahnbetrieb, Wasserkräfte für den 502.
Bahnen, Betrieb deutscher 618.
— elektrischer Betrieb 526.
Bandak-Skien-Kanal 556.
Basel, Kraftwerke oberhalb 378.
Bau und Betrieb, Kosten 385.
— — — von Sammelbecken, Anleitung für 38.
Bau- und Betriebskosten von Wasserkräften 390.
Bauformen 6.
Baukosten, Ermittlung 388.
— tatsächliche 397.
— bei kleinen Wasserkräften 401.
— von Wasser- und Dampfkraftanlagen an kanalisierten Flüssen 391.
Baustoffe, Förderung 575.
Bauteile, Kosten wesentlicher 399.
Bauwerke und Maschinen, Erneuerung 408.
Bayern 617.
Bayerns Wasserkräfte 231.
Bayrische Alpen, Wasserkräfte 599.
Bayrisches Wassergesetz 619.
Becken, Größenbestimmung 74.
— mit großen Fassungsräumen 560.
Beckenstauraum 74.
Bedarf der Schiffahrt an Wasser für die Schleusungen 87.
Bedeutung der Sammelbecken, wirtschaftliche 456.
— des Wassers, wirtschaftliche 586.
Bedingungen 374.
Befestigung der Sohle 154.
Begriff der Tilgung 409.
Beispiele von ausgeführten Stollenanlagen 168.
— aus Vorarbeiten 59.
Bekämpfung der Hochwassergefahren 528.
Belastung des Kleingewerbes 471.
— der Maschinen, gleichmäßige 439.
Belastungsfaktor 261, 387, 407, 440.
— des Abnehmers, Kosten in Beziehung gesetzt zum 444.
— des Werkes, Selbstkosten im Verhältnis zum 443.
Belastungskurve eines hydro-elektrischen Werkes 95.
Belastungskurven 184.
Berechnung der Abflußmengen 59, 62, 63.
— der Druckhöhe bei Rohrleitungen und Druckstollen 178.
— von Eisenbetonrohren 198.
— der eisernen Rohre 187.
Berechnung der Wandstärke 187, 221.
— der Wehrbreite 127.
Bergbahnen, Kohlenverbrauch 503.
Bergisches Land 616.
Berlin, Mühlendammschleuse 378.
Besondere Dampfaushilfe 480.
Bestrebungen auf Verstaatlichung der Wasserkräfte 523.
Bestimmung des Wasserabflusses 42.
Betrieb der Bahnen, elektrischer 526.
— — — hydroelektrischer 502.
— deutscher Bahnen 618.
— der Dampfzentrale 411.
— eines Wasserwerkes ohne Filterung 612.
— des Kraftwerkes, Wasserbedarf für den 99.
— des Leitungsnetzes 411.
— von Sammelbecken, Leitung für Bau und Betrieb 38.
— an Schleusen, zweckmäßigster 379.
— Sicherheit 385.
— Sicherung an Fernleitungen 333.
— Unterbrechung bei Wasserkraftwerken 86.
— Verminderung bei Wasserkraftwerken 86.
— eines Wasserkraftunternehmens 411.
— der Wasserkraftwerke 467.
— eines elektrischen Werkes 261.
— Zentralisierung 256.
Betriebsanlagen, mangelhafte Ausnutzung 472.
Betriebsaufsicht 335.
Betriebsausgaben 408.
Betriebsbedingungen 386.
Betriebsdauer 471.
Betriebseinnahmen 409.
Betriebseinrichtungen einer Schleuse, Kraftbedarf 381.
Betriebsergebnisse 404, 438.
— an langen Kraftübertragungen 334.
— finanzielle, schweizerischer Wasserkraft-Elektrizitätswerke 465.
Betriebsgemeinschaft 362, 611.
— Wirtschaftlichkeit 364.
Betriebsgestaltung 387.
Betriebskanal, Anstauung ohne 130.
— Ausgleichsweiher am 93.
Betriebskanäle, Kosten 396.
Betriebskosten der Elektromotore 406.
— bei Gewinnung von Wasser- und Dampfkräften an der Mosel und Saar 497.
— mittelbare unveränderliche und veränderliche 409.

Betriebskosten beim Nadelwehr 369.
— unmittelbare 408.
— von Wasserkraftanlagen in Hundertsteln der Anlagekosten 413.
— und Selbstkostenberechnung 86.
Betriebskostenvergleich zwischen Wasser- und Dampfkraft an der Saar 493.
Betriebskraft in abseits gelegenen Tälern 469.
Betriebskräfte 605.
Betriebsplan für die Urfttalsperre 104.
Betriebspläne 700.
— für die Wuppertalsperren 106.
Betriebssicherheit 321.
— der Wasserkräfte 414.
Betriebsspannung 340.
Betriebsstätten, Eigenbedarf an Strom 453.
Bestriebsstromes, Wahl des 324.
Betriebsvereinigung eines Talsperrenkraftwerkes mit einer Wärmekraftaushilfe 480.
Betriebswasser, Ermittlung 100.
Betriebswasserentnahme 235.
Betriebswassermenge 99, 261.
— des Albula Werkes 88.
— für Flußwasserkraftwerke 79.
— bei Hochdruckwerken 90.
— bei Niederdruckwerken 89.
Betriebszeit, Regelung 98.
— des Werkes 88.
Bewegliche Kosten 472.
— Wehre 127, 369.
Bewertung einer Kraftanlage 387.
Bewertungsart 387.
Beziehung zwischen Aufschlagwassermenge und Wassermangel 82.
Beziehung zwischen Niederschlag und Abfluß 67.
— — Stauhöhe, Stauinhalt und überstauter Fläche 21.
— — den Stauhöhen einer Talsperre und den Kosten 23.
Beznau a. d. Aare, Kanal 158.
Bilanzaufstellung 416.
Binnenseen Norwegens 555.
Biwasee-Kanal 508.
Blechwand von Rohren, Festigkeit 189.
Bleiabdichtung, Sicherungen für die 200.
Bleidichtungen 193.
Bleiwolle 200.
Blitzschäden 333, 345.
Blitzschutzvorrichtungen 333, 346.
Bober 594, 620.
Bodenbedeckung, Einwirkung der 74.
Bodenuntersuchungen, geologische 23, 24.
Bogenlampe 406.
Bogota 577.
Böhmen 530.
— Talsperrenbauten 529.
Böschungsverhältnisse 151.
Brechplattenvorrichtung 209.
Brechung des Gesamtgefälles 418.
Bremsapparat 275.
Bremsung 281.
Brennstoffersparnis 466.
Bruchgefahr 194.
Bruttoüberschuß 416.
Buchwald 621.
Bulgarien 507.
Bundesverfassung 527.
Bureau, hydrometrisches 515.
Bureau, schweizerisches hydrometrisches 11.

C.

Chagres-Fluß 565.
Chèvres, Betriebsergebnisse des Kraftwerkes 464.
Compagnie de l'Industrie Électrique et Mécanique in Genf, Versuche der 324.
Coulouvrenière 463.
Cragside 560.
Crotonfluß 565.
Culebra-Einschnitt 566.

D.

Dampf, Kosten 426.
Dampfanlage 80.
Dampfaushilfe 86, 363.
— besondere 480.
— Wasserkraftzentralen mit 363.
Dampfbetriebene Elektrizitätswerke, Statistik der deutschen 413.
— — unmittelbare Betriebskosten in deutschen 414.
Dampfkosten 466.
Dampfmaschine, Wirkungsgrade 475.
Dampfmaschinen 466.
— Gesamtkosten 467.
— in Preußen 605.
Dampfwerk, Platzfrage 243.
Dampfzentrale, Betrieb 411.
Darstellung des Abflußvorganges 73.
— der Messungsergebnisse 57.
— der Selbstkostenpreise für die Kraftabgabe aus der Heimbacher Zentrale 435.
— der Wasserkräfte, schematische 12.
Dauer des Betriebes 471.

Deutsch-Ostafrika 627.
Deutsch-Südwestafrika 624.
Deutsche dampfbetriebene Elektrizitätswerke, Statistik 413.
— — — unmittelbare Betriebskosten 414.
— Kolonien 624.
— Kolonisation 569.
— Staaten, Niederschlag 45.
— Wasserkraftverwertung, leitende Gesichtspunkte 615.
— Wasserwirtschaft, Talsperrenbau und die 79.
— Wasserwirtschaft im Gebirge 586.
Deutschland 586.
— Betrieb von Bahnen 618.
— Entwürfe zu Wasserkraftunternehmungen 625.
— größte nutzbar gemachte Gefälle 612.
— hydrographischer Dienst 586.
— Niederschlag 44.
— Tabelle der Niederschläge 45.
— öffentliche Elektrizitätswerke 605.
— Regenkarte 44.
— Statistik 605.
— Talsperrenbau und Wasserwirtschaft 620.
— Verstaatlichung der Wasserkräfte 618.
— Wasserkraftnutzung 586.
— neuere Wasserkraftunternehmungen 600.
Dezentralisierung der Gewerbe 585.
— der Industrie 503.
— der Wasserkräfte 312.
Dienstanweisung für Stauwärter 38.
Dillingen, Saugkopf 240.
Dnjepr 506.
Donau 500.
Doppelte Ausnutzung des Wassers 248.
Doppelkranzturbine 297.
Doppelleitungen 211, 307, 339.
Drehstrom 324.
Drehstromanlagen 321.
Drehstrommaschine 321.
Drosselklappen 203, 217.
Druck, Leitungen mit hohem inneren 192.
Druckerhöhungen 214.
Druckhöhe 178.
— bei Rohrleitungen und Druckstollen, Berechnung 178.
Druckleitung, Linienführung 180.
— des Elektrizitätswerkes Luzern-Engelberg 220.
— der Sillwerke 219.
Druckleitungen, Ausrüstungen und Sicherungen 202.
Druckleitungen des Elektrizitätswerkes Kubel 221.
— hölzerne 197.
Druckluft 313, 316.
— Nutzbarmachung von Wassergefälle durch 238.
Druckluftkammer 242.
Druckprobe 193, 219.
Druckregulatoren 205, 208.
Druckrohrleitungen 177.
— Auflagerung 201.
— Kosten 397.
— Probedruck 201.
Druckschwankungen 192, 207.
Drucksteigerungen 202.
Druckstollen 168.
— Abdichtungsarbeiten 168.
Druckverlust 245.
Druckwasserbetrieb 203.
Druckwasserübertragung 313.
Dunajec-Popradgebiet 531.
Durchflußflächenkurve 49, 50.
Dynamische Wirkungen 252.

E.

Eigenbedarf der Zentralen an Strom 448.
— an Strom in den Betriebsstätten 453.
Eigenbetriebe des Werkes 412.
Eigengefälle der Talsperren 234.
Einfluß, klimatischer 338.
— der verschiedenartigen Inanspruchnahme des Werkes 442.
Einheitliche Wasserwirtschaft 615.
Einheitliches System der Wasserwirtschaft 627.
Einheitskosten, Herabminderung 473.
Einlaßschleuse 134, 135.
Einlauf zu den Turbinen 150.
Einnahme (mittlere) aus Licht- und Kraftstrom 416.
Einnahmen der Wasserkraftwerke 409.
Einrichtung der Fernleitungen 333.
— des Kraftwerkes 243, 245.
Einrichtungen der Stromabgabe 323.
Eintrittsgeschwindigkeit 150.
Eintrittswiderstand 179.
Einwirkung der Bodenbedeckung 74.
Einzelanlagen, Verzettelung in planlose 628.
Eisbildung 165, 366.
Eisenbahnbetrieb, Maschinenstärke 264.
Eisenbeton 252.
Eisenbetonrohre 197.

Eisenbetonrohre, Berechnung 198.
Eisenbetonwehr 304.
Eisenbetonmaste 343, 344.
Eisenmaste 341.
Eisentechnik 6.
Eisenbahnen, elektrischer Betrieb 511.
Eiserne Gittermaste 358.
»Eiserner Bestand« 234.
Eisverhältnisse 145.
Eisversetzung 165, 581.
Elastizität des Materials 192.
Elbe 623.
— Gefällstufen 500.
Elektrische Aufspeicherung 96.
— Bogenlampe 406.
— Energie, Selbstkosten 419.
— Fernübertragung 3.
— Glühlampe 405.
— Kraftleitung ohne Draht 349.
— Kraftübertragung, Entwicklung 318.
— — Kostenzunahme und Kraftabnahme 349.
— Schleuseneinrichtungen 378.
— Ströme, vagabundierende 191.
— Übertragung 316.
— Umsetzung, Gesamtwirkungsgrad 347.
— Zugförderung 502, 534.
Elektrischer Ausbau des Kraftwerkes 323.
— Bahnbetrieb 265.
— Betrieb der Eisenbahnen 511, 526.
— Schleppzug 381.
— Ströme, Akkumulierung 96.
Elektrizitätsmesser 407.
Elektrizitätswerk Albbruck 146.
— der Ennepetalsperre 356.
— Gersthofen 135, 372, 453.
— Heimbach 293, 353.
— Jonage 372.
— Kubel 146, 358, 365.
— — Schwankungen in der Inanspruchnahme 461.
— Luzern-Engelberg 297, 358.
— Nordhausen a. H. 453.
— Rheinfelden 461.
— Schweinfurt 356, 455.
— Untertürkheim 455.
— Wangen a. d. Aare 139, 300, 360.
Elektrizitätswerke 605.
— öffentliche 262.
— in Deutschland, öffentliche 605.
— in England, Statistik der öffentlichen 562.
— der Schweiz 513.
Elektrizitätswerke der Schweiz, Karte 514.
Elektrochemische Verwertung der Wasserkräfte 546.
Elektromotore 380, 406.
Energie, Umformung der natürlichen 243.
— ins Ausland, Ableitung von elektrischer 527.
Energieabgabe, Schwankungen in der 429.
— auf die einzelnen Monate, Verteilung 474.
Energieverluste 347, 448.
— in der Fernleitung 319.
England 560.
— Statistik der öffentlichen Elektrizitätswerke 562.
— Wasserkraftanlagen 561.
Englische Kolonien 563.
Ennepetalsperre 290, 456.
— Elektrizitätswerk 356.
Ennepetalsperrengenossenschaft, Statut 456.
Enteignung von Grundeigentum 41.
Entlastung der Rohrleitung 206.
Entleerungsschieber 217.
Entschädigung für Wasserentziehung 41, 389, 401.
Entwässerungsschieber 217.
Entwicklung der elektrischen Kraftübertragung 318.
— des Talsperrenbaues, geschichtliche 4.
— der Wasserkraftmaschinen 2.
— der deutschen Wasserkraftnutzung, Rückblick 586.
— der Wasserkraftverwertung 502.
Entwürfe zu Wasserkraftanlagen, Vorschriften für 35.
— zu Wasserkraftunternehmungen in Deutschland 625.
Entwurfsarbeiten des Kraftwerkes 243.
Entwurfsaufstellung für Talsperren- und Wasserkraftanlagen 35.
Entwurfsbearbeitung zu einer Talsperre 37.
Erdbeben, Einwirkung auf Wasserkraftwerke 579.
Erddämme 5.
Ermittlung der Baukosten 388.
— des Betriebswassers 100.
— der Niederschlags- und Abflußmengen 43.
— des Pacht- und Kapitalwertes einer Wasserkraft 477.
Ermittlungen, hydrometrische 10.
— im allgemeinen, hydrographische 9.

Erneuerung der Bauwerke und Maschinen 408.
Erneuerungsfonds 410.
Erregermaschine 321.
Erschöpfung der Kohlenvorräte 503.
Ersparnis an Brennstoff 466.
Ertrag der Wasserkraftunternehmungen 404.
Ertragsberechnungen 234, 408.
— als Vorarbeit zu ausgeführten Wasserkraftunternehmungen 416.
Erträge der Transportverbilligung, staatswirtschaftliche 564.
Erzeugungsspannung 346.
Erzgebirge 624.
Erzielbarer Preis 414.
Etzelwerk 24.

F.

Faktoren des wirtschaftlichen Lebens 385.
Feldmeßarbeiten 26.
Fernleitung 317.
— Energieverluste 319.
— über See 558.
Fernleitungen, Einrichtung der 333.
Fernübertragung, elektrische 3, 308.
— der Kräfte, wirtschaftliche Grenze 319.
— durch eine Rohrleitung 422.
— der Wasserkräfte, Wirkungsgrad der Umsetzung und elektrischen 346.
— Lauffen-Frankfurt 317.
Festigkeit der Blechwand 189.
Filter 612.
Filterung, Wasserwerksbetriebe ohne 612.
Finanzielle Betriebsergebnisse schweizerischer Wasserkraft-Elektrizitätswerke 465.
Finanzunternehmen 585.
Finnland 507.
Fischtreppe 147.
Flachlandsgebiete 68.
Flanschenverbindung 199.
Fließenden Wasser, Wasserverluste im 103.
Fließgeschwindigkeit 92.
Floßgasse 138.
Flügel, Geschwindigkeitsmessungen mittels 56.
— hydrometrischer 56.
Flüsse, mittlerer Lauf 587.
Flußschleife 371.
Flußwasserkraftwerke, Betriebswassermenge 79.
Flußwehre, bewegliche 369.
Förderkosten 469.
Förderung der Baustoffe 575.
Förderung der Schiffahrt in Amerika 564.
Forderungen der Schiffahrt 87.
Form des Kraftabsatzes 407.
Francis 3
— -Doppelturbine 303.
— -Spiralturbine 274.
— -Turbine 273.
Frankenwald 623.
Frankreich 544.
— Freileitungen in 346.
— Südosten 546.
— Wasserkraftanlagen 550, 551.
— Wasserkräfte 544.
Freiland, Gesellschaft 525.
Freileitungen in Frankreich 746.
Führung der Leitungen 339.

G.

Galizien 530.
Gasaushilfe 363.
Gasmotor 406.
Gebirgsflüsse, schlesische 620.
Gebirgsflüssen, Wasserkraftwerke in 80.
Gebirgsgebiete 68.
Gebirgs-Wasserwirtschaft, deutsche 586.
Gebrauchswassermenge 75.
Gebühren 408.
Gebundenheit der Wasserkräfte 615.
Geeignete Talbecken 623.
Gefälle, allgemeines 124.
— größte bisher in Deutschland nutzbar gemachte 612.
— Konzentrierung 396.
— — hoher 569.
— Nutzbarmachung 32.
— von Triebwerkskanälen und Stollen 166.
— durch Umleitung des Wassers gewonnene 160.
— Vereinigung hoher 619.
— Zusammenfassung großer 623.
Gefäll- und Druckverhältnisse einer Rohrleitung 180.
Gefällgewinnung an natürlichen Seen 225.
Gefällhöhe 124.
— durch Aufstauung in Sammelbecken gewonnen 233.
Gefällhöhen, Gewinnung von 128.
— wechselnde 279.
Gefällschwankungen, Ausgleichung der 234.
Gefällstufen an der Elbe 500.
Gefällverminderung 186.
Gefällverlust 150.
Gefällwechsel 279.

Gehälter 409.
Gelände, Vermessung 28.
Geländeverhältnisse 245.
Geldwert der Wasserkräfte 8.
Gemeinden als Abnehmer 408.
Gemeinsame Schaltung der Elektrizitätswerke 334.
Genauigkeit bei den hydrographischen Messungen 58.
Genehmigung von Kraftwerken an kanalisierten Flüssen 374.
Genehmigungsverfahren 525.
Geneigte Ebenen 490.
Generator 321.
Genf 463, 511.
Genfer Kraftwerkanlagen 314.
Genietete Rohre 194.
Genossenschaftsbildung 618.
Geodätische Arbeiten 26.
Geological Survey, US. 568.
Geologische und Bodenuntersuchungen 23.
Geplante Kraftanlagen der Schweiz 521.
Geringster Abfluß 81.
Gerölltalsperren 621.
Gersthofen, Betriebskanal 155.
— Elektrizitätswerke 135, 453.
Gesamtanordnung einiger Wasserkraftwerke 286.
Gesamtdisposition von elektrischen Übertragungsanlagen 337.
Gesamtkosten der Dampfmaschinen 467.
— von Wasserkraftanlagen 389.
Gesamtwert einer Wasserkraftanlage 387.
Gesamtwirkungsgrad der elektrischen Umsetzung 347.
Geschichtliche Entwicklung des Talsperrenbaues 4
Geschichtlicher Rückblick 1.
Geschiebeführung 145.
Geschiebe- und Sinkstoffe, Ablagerung der 164.
Geschlossene Rohrleitungen 177.
Geschweißte Rohre 189, 195.
Geschwindigkeit, mittlere 48.
— am Überfall 53.
Geschwindigkeitshöhe 126.
Geschwindigkeitsmessungen mittels Flügel 56.
Gesellschaft Freiland 525.
Gesetzentwürfe betr. Wasserrecht 619.
Gesetzgebung 618.
Gesetzliche Regelung der Wasserkraftfrage 554.
Gesichtspunkte für die deutsche Wasserverwertung, leitende 615.
Gestehungskosten der Kraft 388.
Gewässer, Hoheit über sämtliche 525.
Gewässerkunde, Landesanstalt für 17.
Gewerbe, Dezentralisierung 585.
Gewerbeordnung 35.
Gewerbliche Entwicklung Italiens 537.
— Verwertung der Wasserkräfte 316.
Gewinn, volkswirtschaftlicher 493.
Gewinnbare Wasserkräfte 504.
Gewinnhöhe bei Wasserkraftwerken 416.
Gewinnmöglichkeit bei Wasserkraftwerken 416.
Gewinnung von Gefälle durch Umleitung des Wassers 160.
— — Gefällhöhen 128.
— — Gefällhöhe durch Aufstauung in Sammelbecken 233.
Gewinnung von Wasser- und Dampfkräften an der Mosel und Saar, Anlagekosten 496.
— — — — — — — — — — Betriebskosten 497.
Girard 3.
Girardturbinen 277, 293.
Gittermaste, eiserne 358.
Gittermastkonstruktionen 344.
Glasisolatoren 345.
Glatzer Neiße 620.
Gleesen und Münster 379.
Gleichmäßige Belastung von Maschinen 439.
Gleichstrom 324.
— Kraftübertragungen mit hochgespanntem 325.
— -Hochspannungsanlagen 326.
Gleichstrommaschinen 321.
— Hintereinanderschaltung 326.
Glühlampe, elektrische 405.
Görlitzer Neiße, Sammelbecken 529.
Great Fall, Kraftwerk 305.
Grenoble 546.
Grenze der Fernübertragung der Kräfte, wirtschaftliche 319.
— für die Wirtschaftlichkeit von Wasserkraftanlagen 399.
Griechenland 507.
Große Fassungsräume 560.
— Stauweiher 565.
Größe eines Ausgleichweihers für Tagesausgleich 94.
Größenbemessung der Kraftgebäude 260.
— von Sammelbecken 78.
Größenbestimmung der Becken 74.

Größte in Deutschland nutzbar gemachte Gefälle 612.
Grundablaß 146.
Grund- und Kiesablaß 136.
Grundanforderungen an Wassermotoren 270.
Gründe für die Wahl der Stromart 327.
Grundeigentum, Enteignung 41.
Grundeis 165.
Grunderwerb 32, 41.
Grunderwerbskosten 389, 409.
Grundfläche der Kraftgebäude 260.
Grundlage für Kostenberechnungen 428.
Grundlagen zur Ausnutzung der Wasserkräfte, technische 42.
Grundpreis einer K.W.-Stunde 441.
Grundriß des Krafthauses 255, 258.
Grundrißabmessungen einiger Kraftanlagen 260.
Gründungsarbeiten für das Kraftwerk 249.
— für Talsperren 23.
Grundwassergewinnung 486.
»Grüne Kohle« 70, 318.
Grünewalder Becken 528.
Güdingen an der Saar, Stauanlage 492.
Gußeisen 190.

H.

Hafslund 556.
Hammerwerke 1.
Hannover, Wasserwerk 297.
Harz, Sammelbeckenanlage 611.
Harzer Teiche 5.
Harztalsperren 596.
Hebung von Speisungswasser für Kanäle 372.
Heimbach 293.
— Elektrizitätswerk 353.
— Übertragungs- und Verteilungsnetz 353.
— Kraftzentrale, Kostenüberschlag über die Kraftausgabe 427.
— — Darstellung der Selbstkostenpreise für die Kraftabgabe 435.
Herabminderung der Einheitskosten 473.
Herstellung der Turbinen 277.
Herstellungskosten der Kraft 388.
Himalaya 508.
Hintereinanderschaltung von Gleichstrommaschinen 326.
— zweier Kraftwerke 161.
Hirschberger Tal 616.
Hochbehälter 421, 597, 612.
Hochdruckspiralturbine 293,
Hochdruckwerke, Ausbau 257.
Hochdruckwerke, Betriebswassermenge 90.
— Wasserfassung 128.
Hochfluten, schadenbringende 620.
Hochgebirge 512.
Hochgebirgs- und eines Mittelgebirgsflusses, Abflußvorgang eines 73.
Hochgelegene Behälter, Wasseransammlung 95.
Hochgespannter Gleichstrom, Kraftübertragungen 325.
Hochspannungskraftübertragungen, Aluminiumverbrauch 320.
— Kupferverbrauch 320.
Hochspannungsnetz 350.
Höchstleistung, Verhältnis der mittleren zur 72.
Hochwassergefahren, Bekämpfung 528.
Hochwasserschutzbecken 620.
— schlesische 588.
Hohe Gefälle, Konzentrierung 569.
— Vereinigung 619.
Hohe Maschinenspannungen 340.
Höhe des Wehrrückens 126.
Höhen- und Lageplan der Wupper 33.
Höhenschichtenplan 30.
Höhenverhältnisse an einem Niederdruckwerk 128.
Hoheit über Gewässer 525.
Hölzerne Druckleitungen 197.
Holzmaste 341, 360.
Holznadeln 366.
Horin 500.
Horizontalkurvenpläne 32.
Houille Blanche, Kongreß de la 552.
Hydraulische Aufspeicherungswerke 262.
— Luftkompressoren 239.
— Technik 516.
Hydroelektrischer Betrieb der Bahnen 502.
Hydro-elektrische Kraftausbeute Oberitaliens 537.
Hydro-elektrische Werke, Belastungskurve 95.
Hydrographie im weiteren Sinne 10.
Hydrographischer Dienst in den Vereinigten Staaten 568.
Hydrographische Ermittlungen im allgemeinen 9.
Hydrographischer Dienst in Deutschland 586.
Hydrographische Messungen, Genauigkeit 58.
Hydrographisches Zentralbureau, österreichisches 14.

Hydrometrisches Bureau 515.
Hydrometrische Bureaus, schweizerische 11.
Hydrometrische Ermittlungen 10.
Hydrometrischer Flügel 56.

I.

Imatra-Fälle 506.
Inanspruchnahme des Werkes, Einfluß der verschiedenartigen 442.
Industrie, Anwachsen der 501.
— Norwegens 557.
— Dezentralisierung 503.
»Industrielles Minimum« 81.
Ingenieur als Fabrikant und Kaufmann 385.
Inkrustation 186.
Innendruckbeanspruchungen im Rohre 184.
Instruktion über Wasserkraftkataster 15.
Interessen, Ausgleichung verschiedenartiger 614.
— -Vereinigung von Schiffahrt und Landeskultur 623.
Intze 4, 587.
Isère (Rhonegebiet) 547.
Isolatoren 345.
— Glas- 345.
— Porzellan- 345.
Italien 536.
— gewerbliche Entwicklung 537.
— Kraftübertragungen 536.

J.

Jahresbedarf an Trinkwasser 597.
Jahresmengen des Niederschlags 46.
Jahreszeit, Verteilung der Niederschläge auf die 46.
Jährliche Aufwendung 561.
Japan 507.
Jonage 464.
— Elektrizitätswerk 372.
— Kraftwerk 548.

K.

Kabel 333, 351.
Kalifornien 578.
— Kraftübertragungsanlage 570.
Kanal, Oder-Spree- 227.
Kanaleinlauf 132.
Kanalgefälle 150.
Kanalquerschnitt 151.
Kanäle, Hebung von Speisungswasser für 372.
Kanalisierten Flüssen, Wasserkraftnutzung an 361, 364.
Kanalisierte Wasserläufe, Kraftausnutzung 87.
Kanalisierung 587.
— der Moldau 500.
— der Mosel und Saar 495.
Kapitalbewertung 387.
Kapitalwert der rohen Wasserkraft 479.
— einer Wasserkraft, Abschätzung 436.
— einer Wasserkraftanlage 395.
Karsefall 559.
Karte der Elektrizitätswerke der Schweiz 514.
Karten der Landesaufnahme 27.
Katzbach 594, 620.
Kaufmännische Verwertung der Wasserkräfte 578.
Keilförmige Muffen 215.
Kies- u. Sandfang 142, 162, 164.
Kiesablaß, Grund- und 136.
Kiesfang 140.
Kiesschleuse 140.
Kleineisenindustrie 1.
Kleingewerbe 543.
Kleinmotor, Vorteile 471.
Kleinverteilung der Wasserkraft 493.
Kleinverteilungsnetze 408.
Klimatischer Einfluß 338.
Kleingewerbe, Belastung 471.
Kohle, Betriebsausgaben 409.
— Raubwirtschaft 476.
Kohlenkosten 466.
Kohlenverbrauch der Bergbahnen 503.
Kohlenvorräte, Erschöpfung 503, 562.
Kolonien, deutsche 624.
Kolonisation, deutsche 569.
Kompressionsanlage 240.
Komprimierte Luft 242.
Kgl. Preuß. Meteorologisches Institut 43.
Kongreß de la Houille Blanche 552, 554.
Konzentrationen, wirtschaftliche 585.
Konzentrierung des Gefälles 396.
— hoher Gefälle 569.
— großer Kräfte 578.
— großer Nutzgefällhöhen 623.
Konzessionserteilung 538.
Kosten des Baues und Betriebes 385.
— wesentlicher Bauteile 399.
— in Beziehung gesetzt zum Belastungsfaktor des Abnehmers 444.
— der Betriebskanäle 396.
— bewegliche 472.
— des Dampfes 426, 466.
— der Druckrohrleitungen 397.

Kosten von elektrischen Anlagen bei Wasserkraft-Überlandzentralen 400.
— des Grunderwerbes 389.
— für das Leitungsnetz 389.
— für 1 qm Grundfläche des Maschinengebäudes 398.
— von Stollen 397.
— Beziehungen zwischen den Stauhöhen einer Talsperre und den 22.
— von Wasserkraftanlagen 389.
— der Wasserkräfte 388.
— der Wehre 395.
— der Turbinen 399.
— der Übertragung 313, 319.
Kostenberechnungen, Grundlage 428.
Kostenfrage bei Rohrleitungen 194.
Kostenüberschlag für die Kraftabgabe aus der Heimbacher Kraftzentrale 427.
Kostenzunahme und Kraftabnahme bei elektrischer Kraftübertragung 349.
Kraft, Absatz 492.
— verfügbare 408.
— Licht und öffentliche Beleuchtung, Verhältnis der Stromabgabe 473.
— und Arbeitsmaschinen, Kuppelung der 255.
— und Lichtleitung, Trennung von 339.
Kraftabgabe 388.
— im kleinen 489.
Kraftabsatz 404, 616.
— Form 407.
Kraftanlagen, Bewertung 387.
— oberitalienische 336.
— Grundrißabmessungen einiger 260.
Kraftausnutzung eines Sees 227.
— an den Staustufen 587.
— an den kanalisierten Wasserläufen 87.
Kraftbedarf 262.
— für die Betriebseinrichtung einer Schleuse 380.
— der Landwirtschaft 617.
— für Schiffahrtszwecke 371.
Kraftbetrieb 411.
Kraftdiagramm 261.
Krafteinheit, Selbstkostenpreis 86.
Krafteinheiten 4, 258.
Krafterzeugung 245.
— an einem Verbrauchsmittelpunkte 422.
Kraftgebäude 243.
— Größenbemessung 260.
— Grundfläche 260.
— Raumbemessung 255.
Kraftgenossenschaften 407.
Kraftgesamtheit, Zerlegung 258.
Kraftgesellschaften 584.
Kraftgesellschaft Ontario 141.
Kraftgewinnung, Staubecken für 18.
— an einem schiffbaren Fluß 369.
Kraftgröße 86.
Krafthaus, Grundriß 255, 258.
Kraftkurve 13.
Kraftleistung 80.
— Kurve der 261.
Kraftleitung, elektrische ohne Draht 349.
Kraftnutzung an der schiffbaren Mayenne 374.
Kraftspeicher 512.
Kraftüberschuß in der Winterzeit 475.
Kraftübertragungsarten 308.
Kraftübertragungen, Entwicklung der elektrischen 318.
— Betriebsergebnisse an langen 334.
— ohne Draht 349.
— mit hochgespanntem Gleichstrom 325.
— Italiens 536.
— von Wasserkräften 319.
Kraftübertragungsanlagen in Kalifornien 570.
Kraftverbrauch, Spitzen 92.
Kraftverhältnisse eines Kraftwerkes 82.
Kraftverlust 96.
Kraftverteilung, sozialer Gedanke der 563.
— System 563.
Kraftwasser, Verstärkung 623.
Kraftwerk, Ausbau 243.
— Einrichtung 245.
— und seine Einrichtung 243.
— elektrischer Ausbau 323.
— Entwurfsarbeiten 243.
— am Great Fall 305.
— Gründungsarbeiten 249.
— Kraftverhältnisse 82.
— Lage 28, 243, 369.
— am Patapsco-Fluß 303.
— am Puyallup-Fluß 307.
— der Stadt Solingen 249.
— der Stadt Zürich a. d. Albula 330.
Kraftwerke, Äußeres 282.
— oberhalb Basel 378.
— in Genf 314.
— Hintereinanderschaltung zweier 161.
Krautgitter-Reinigungsanlage, mechanisch angetriebene 163.
Kubel, Elektrizitätswerk 146, 358, 365.
— Druckleitungen des Elektrizitätswerkes 221.

Kubel, Schwankungen in der Inanspruchnahme des Elektrizitätswerkes 461.
— Unterhaltungskosten des Werkes 463.
— Zuleitungsstollen 175.
Künstliche Staubecken in der Schweiz 512.
Künstlicher Aufstau 619.
— Ausgleich 70.
Kupferdraht 319.
Kupferverbrauch in Hochspannungskraftübertragungen 320.
Kuppelung der Kraft- und Arbeitsmaschinen 255.
Kurve der Kraftleistung 261.
— der Stauflächen 32.
— der Tage mit Wassermangel 85.
— des Wirkungsgrades 346.
Kurven der Staufläche und des Stauinhaltes 21.
Kykkelsrud 556.

L.

Ladoga-Kanäle 506.
Lage des Kraftwerkes 18, 243, 369.
Lageplan einer Meßeinrichtung am Wehr 52.
— der Wupper, Höhen- und 33.
Länder mit beginnender Entwicklung der Wasserkraftnutzung 506.
Landesanstalt für Gewässerkunde 17.
Landesaufnahme, Kurven der 27.
— meteorologische 43.
Landeskultur, Vereinigung der Interessen von Schiffahrt und 623.
Landesmelioration 586.
Landschaftliche Schönheit 582.
Landverdunstung 69.
Landwirtschaft, Kraftbedarf 617.
Lange Kraftübertragungen, Betriebsergebnisse 334.
Lauffen-Frankfurt, Übertragung 4, 317.
Laufkran 284.
Lebendige Kraft der Wassermenge 207.
Leistung, nutzbare 7.
— der rohen Wasserkraft, nutzbare 347.
Leistungsfähigkeit des Werkes 86.
Leitung, doppelte 211.
Leitungen, Führung 339.
— mit hohem innern Druck 192.
Leitungsdraht, Aluminium 345.
— Kupfer 345.
Leitungsführung im Gebirge 360.
Leistungskurven der Generatoren 346.
Leitungsweg, Betrieb 411.
— Kosten 389.
Leitungsstörungen 335.
Lichtverbrauch stärker als Kraftverbrauch 473.
Lichtweite bei den Rohrleitungen 185.
Linien gleicher Niederschlagshöhe 47.
Linienführung der Druckleitung 180.
Löhne 409.
Loire 552.
Los Angeles 567.
Luft, komprimierte 242.
Luftansammlung bei Rohrleitungen 180.
Luftkompressionsanlage in Ainsworth (British Columbia) 241.
Luftkompressoren 238.
Luftschacht 206.
Luzern 519.
Luzern-Engelberg, Druckleitung des Elektrizitätswerkes 220.
— Elektrizitätswerk 297, 358.
— Stollen und Wasserschloß 175.

M.

Main 495.
Mangelhafte Ausnutzung der Betriebsanlagen 472.
Manometer an Druckleitungen 216.
Marklissa-Talsperre 119. 621.
Maschinen, Regulierung 322.
Maschinengebäude 256.
Maschinenleistung 261.
Maschinenreserve 262.
Maschinensätze 258.
Maschinenspannungen 339.
— hohe 340.
Maschinenstärke 80, 261.
— bei ausgeführten Anlagen 263.
— im Eisenbahnbetrieb 264.
Maschinisten, Wohnräume 281.
Massenberechnung 402.
Maßives Meßhäuschen 54.
— Meßwehr 53.
Maste 341.
— Eisen- 341.
— Eisenbeton- 343.
— Holz- 341.
Masurischer Schiffahrtskanal 229, 490.
Masurische Seenplatte 230.
Material, Elastizität 192.
Materialfrage: gußeiserne oder schmiedeeiserne Rohre 188.
Mauer, Talsperre 621.
Mauersee nach der Alle, Schiffahrtskanal vom 492.

Mayenne, Kraftnutzung an der schiffbaren 374.
Mechanisch angetriebene Krautgitter-Reinigungsanlage 163.
Mechanische Arbeit 495.
— Arbeitsleistungen 243.
— — Nachfrage 616.
— Kräfte, Vergleich der Einheitspreise 468.
Mehrkosten für die elektrische Übertragung auf 10 km Mehrlänge 432.
Mehrwert der Wasserkraft gegenüber Wärmekraft 414.
Meiringen, Aareschlucht 513.
Menschenkraft, gesparte 467.
Mescheder Staubecken 19.
Meßapparate 283.
Meßarbeiten 13.
Meßeinrichtung, Lageplan 52.
— mit massivem Wehr 52.
Meßhäuschen, massives 54.
Messung der Abflußmengen 47.
Messungen, Genauigkeit bei den hydrographischen 58.
Messungsergebnisse, Darstellung der 57.
— von Niederschlagshöhen und Wasserabflußmengen 60, 61.
Meßvorrichtung, selbstaufzeichnende 51.
Meßwehr, massives 53.
Meßwerkzeug 28.
Meteorologisches Institut, Kgl. Preuß. 43.
Meteorologische Landesaufnahme 43.
Mietswert der Wasserkraft 426.
Miets- oder Pachtwert der Wasserrohkraft 478.
Mindestmaß des Abflusses 81.
Mississippi, Schiffbarkeit des 382.
Mittelbare unveränderliche und veränderliche Betriebskosten 409.
Mittelelbe 500.
Mittelgebirge 623.
— Abflußvorgang 70.
Mittelwassermenge 81.
Mittlerer Abfluß 81.
Mittlere Einnahme aus Licht- und Kraftstrom 416.
Mittlere Geschwindigkeit 48.
Mittleren zur Höchstleistung, Verhältnis der 92.
Mittleres Niedrigwasser 81.
Moldau, Kanalisierung 500.
Monopolisierung der Wasserkräfte 525.
Moore und Sümpfe, ausgleichende Wirkung 71.
Mosel 495.
— und Saar, Anlagekosten für Gewinnung von Wasser- und Dampfkräften 496.
— — — Betriebskosten bei Gewinnung von Wasser- und Dampfkräften 497.
Mosel- und Saarkanalisierung 495, 500.
Motalafälle 559.
Muffen, keilförmige 215.
Muffendichtung 199.
Muffenrohre 189.
Mühlendammschleuse in Berlin 378.
Mulde, Zwickauer 624.
Münster und Gleesen 379.

N.

Nachfrage nach mechanischen Arbeitsleistungen 616.
Nadelwehr 366.
— Betriebskosten 369.
— Turbinenpfeiler 366.
Nationale Momente 524.
Nationalrat und Ständerat, schweizerischer 527.
Nationalvermögen 526.
Natürliche Seen, Gefällgewinnung 225.
— — Wasseraufspeicherung 225.
Naturschönheiten 567.
Neapel 539.
Nebenanlagen der Kraftwerke 281.
Neuere Bestrebungen zur Ausnutzung der Wasserkräfte 501.
— Talsperrenanlagen im Harz 596.
— Wasserkraftunternehmungen in Deutschland 600.
Neuhaus, Pumpenanlage 227.
Niagarafälle 4, 564, 578, 579, 580, 581.
— Wasserkraftnutzung 580.
Niederdruckwerk, Betriebswassermenge 89.
— Höhenverhältnisse 128.
— Nutzwirkung der Talsperren 109.
Niederlegung der Wehre 365.
Niederschlag in Deutschland 44, 45.
— Jahresmengen 46.
— und Abfluß, Beziehung zwischen 67.
— — —, prozentuales Verhältnis 63.
Niederschlagsgebiete in Ober-Bayern 598.
— Teilung 236.
Niederschlagshöhe, Linien gleicher 47.
— der Schweiz 515.
Niederschlagshöhen und Wasserabflußmengen, Messungsergebnisse 61, 601.
— — Abflußmengen bei Nordhausen 66.

Niederschlags- und Abflußmengen, Ermittlung der 43.
Niederschläge 587.
— in Deutschland, Tabelle 45.
— Ermittlung 43.
— Verteilung auf die Jahreszeit 46.
Niederspannungsnetz Solingen 351.
Niedrigwasser, Aufhöhung 123.
— mittleres 81.
Niedrigwasserabfluß 86.
Nord-Amerika 564.
— Sammelbecken von großem Stauinhalt 565.
Nordhausen a. H. 329, 453, 611, 612.
— Betriebsplan der Talsperre der Stadt 106.
— Hochdruckleitung 211.
— Kosten 403.
— Niederschlagshöhen u. Abflußmengen 66.
— Sammelbecken der Stadt 18.
— Talsperrenkraftwerk 286.
— Vergleichende wirtschaftliche Aufrechnungen für den Bau des Talsperrenkraftwerkes 417.
Normalisierungsplan 98.
Normalstau 125.
Normalwasserstand 125.
Norwegen, Binnenseen 555.
— Industrie 557.
— Verwertung der Wasserkräfte 557.
Notodden 556.
Nutzbare Leistung 7.
— der rohen Wasserkraft 347.
Nutzbargemachte Gefälle, größte — in Deutschland 612.
— Wasserkräfte 505.
— — der Schweiz 513.
Nutzbarkeit der Talsperren 620.
— von Wasserkräften 401.
Nutzbarmachung eines Gefälles 32.
— des Stickstoffes der Luft 503.
— des Titicacasees 231.
— von Wassergefälle durch Druckluft 238.
Nutzgefälle 129.
Nutzgefällhöhen, Konzentrierung großer 623.
Nutzleistung in der Arbeitsmaschine 475.
Nutzwirkung der Wassermotore 2.
— der Talsperren 109.
— für Niederdruckwerke 109.

O.

Oberbayern 619.
— Niederschlagsgebiete 598.
Oberbayern, Wasserkräfte 617.
Oberitalien 536.
— hydro-elektrische Kraftausbeute 537.
— Schiffart auf den Kanälen 542.
— Wasserkraftanlagen 540, 541.
Oberitalienische Kraftanlagen 336.
Oberländischer Kanal bei Elbing 371.
Oder 495.
— -Spree-Kanal 227, 378.
Oderteich 5.
Öffentliche Elektrizitätswerke 262.
— — in Deutschland 60.
— — in England, Statistik 562.
Okertalsperre, Betriebsplan 126.
Ölumformer 352.
Ontario Kraftgesellschaft 141.
Opór-Fluß 531.
Ost- und Westpreußen 619.
Österreich-Ungarn 528, 530, 532, 533, 535.
Österreichisches hydrographisches Zentralbureau 14.
Österreichische Wasserstraßen 535.
Östertal, Abflußmengen im 83.
Ostpreußen, Regen- und Abflußmengen in 72.

P.

Pachtwert der Wasserkraft 426.
— einer betriebsfähigen Wasserkraftanlage 480.
Pacht- und Kapitalswert einer Wasserkraft, Ermittlung 477.
Pacht- oder Mietswert der Wasserrohkraft 478.
Panamakanal 565.
Papierfabrik Albbruck 356.
Patapsco-Fluß, Kraftwerk 303.
Pauschalsumme 440.
Pauschaltarife 455.
Pegelablesungen 42.
Pelton 3.
Peltonräder (Tangentialräder) 275, 289.
— Nutzwirkung 275.
Pensionskassen 411.
Personal 411.
Personenfrage 387.
Persönliches Element 468.
Peru (Südamerika) 231.
Planlose Einzelanlagen, Verzettelung in 628.
Platzfrage bei einem Dampfwerk 243.
Pneumatische Kraft 239.
Porzellanisolatoren 345.

Praktische Verwertung der Wasserkraftausnutzung in England 560.
Preisgestaltung 415.
Preisunterschied in den Selbstkosten 470.
Preßluftübertragung 313.
Preußen 605, 619.
Privatgesellschaften, Ausnutzung der Wasserkräfte durch 583.
Privatwirtschaftliche Interessen 564.
Probedruck der Druckrohrleitungen 201.
Produktionsmittel 526.
Programm der Wasserwirtschaft 628.
Projektierung einer Wasserkraftanlage 80.
Prozentuales Verhältnis des Niederschlags und Abflusses 63.
Prüfdrahtkabel 352.
Prüfung und Genehmigung von Talsperrenentwürfen 38.
Pumpenanlage von Neuhaus 227.
Pumpenturbinen 293.
Pumpwerke 281, 297.
— und Wassertriebwerke, Zusammenschluß 618.
Puyallup-Fluß, Kraftwerk 307.

Q.

Queiß 594, 620.
Quelle des Wohlstandes, Wasserkräfte 616.
Querschnitt der Solinger Talsperre 609.
Querschnitte der Wupper 34.

R.

Raubwirtschaft 566.
— an der Kohle 476.
Rauhigkeitskoeffizient 152.
Raumbeanspruchung der Turbinensysteme 255.
Raumbemessung des Kraftgebäudes 255.
Rechen 132, 164.
Rechtstitel 577.
Regelung der Betriebszeit 98.
— des Tarifs 444.
Regenhöhen und Abflußmengen im Sengbachtale 64.
Regenkarte von Deutschland 44.
Regenkarten 47.
Regen- und Abflußmengen in Ostpreußen 72.
Regenmesser 42.
— selbstaufzeichnende 43.
Regenstationen 43.
Regulierung der Bachbetten 586.
— — Geschwindigkeit 203.
Regulierung der Maschinen 322.
— — Turbinen 280.
Regulator, Sammelbecken als 427.
Regulatoren, automatische 281.
Reibungshöhe des Wassers an Rohrwänden 179.
Reibungskoeffizient für Rohrwandungen 178.
Reibungsverlust in Rohrleitungen 179.
Reichenberger Gebiet 529.
Reingewinn aus Wasserkraftunternehmungen 416.
Reinigungsanlage, mechanisch angetriebene Krautgitter-, 163.
Remscheider Talsperre, Abflußmengenmessungen 78.
Rentabilitätsberechnungen, Aufgabe von 100.
Reserve an Maschinen 262.
Rhein oberhalb Straßburg, Schiffahrtsverhältnisse 376.
— -Hannoverkanal, Speisung 620.
— Kraftwerke 376.
Rheinfelden Elektrizitätswerk 461.
Rheingebiet 623.
Rheinland 591, 592.
Rhone 549.
Riemenübertragung 255.
Riesengebirge, Vorgebirgsbezirke 616.
Rieselwiesen 418, 597.
Rjukanfos 559.
Rohkraft 7.
Rohe Wasserkraft, nutzbare Leistung 347.
Rohrabschlußventile 216.
Rohrbruch 202.
Rohrdurchmesser 185.
Rohre, Berechnung der 187.
— Eisenbeton- 197.
— genietete 194.
— geschweißte 189, 195.
— Materialfrage: gußeiserne oder schmiedeeiserne 188.
— Schellen um die 215.
— Verbindung 198.
Rohrleitung, Entlastung 206.
— Fernübertragung durch eine 422.
— Gefäll- und Druckverhältnisse 180.
— Verlegen 219.
Rohrleitungen, Ausdehnungsvorrichtungen 202.
— geschlossene 177.
— Kostenfrage 194.
— Lichtweite 185.

Rohrleitungen, Wassergeschwindigkeit 185.
Rohrwände, Reibungshöhe des Wassers 179.
Rohrwandungen, Reibungskoeffizient 178.
Rohrweite 184.
Rostansatz in Rohren 180.
Rostbildung 191.
Rostfrage 190.
Rostschutz 191.
Rückblick, geschichtlicher 1.
— auf die Entwicklung der deutschen Wasserkraftnutzung 586.
Rücklage für Erneuerungen 410.
Ruhr 618.
— Wasserverhältnisse der unteren 85.
Ruhrgebiet 593.
Rumänien 507.
Ruhrtalsperrenverein 618.
Rurtalsperrengesellschaft 457, 619.
Rußland 506.

S.

Saale 623.
Saar, Kanalisierung der Mosel und 495.
Saarbrücken 372.
Sachsen 623.
— Stauweiher 624.
Sächsisches Wassergesetz 619.
Salt River 565.
Salzkammergutseen 529.
Sammelbecken 4, 38, 74, 99, 233, 262, 620.
— in den Apenninen 543.
— Aufgabe der 74.
— Anleitung für Bau und Betrieb 38.
— Größenbemessung 78.
— der Stadt Nordhausen am Harz 18.
— als Regulator 427.
— staffelartiger Ausbau 236.
— von großem Stauinhalt in Nordamerika 565.
— Wasserhaushalt 99.
— für die Wasserkraftnutzung, Verwertung 79.
— Wasserspiegelschwankungen 487.
— Wirtschaftliche Bedeutung 456.
— Zuschußwasser 75.
Sammelbeckenanlage im Harz 611.
Sammelbehälter 95.
Sammelweiher 94.
Sandablagerungen 152.
Sandfang 142.
— Kies- und 142, 162, 164.
Sandfilter 418.
San Giovani Lupattato 158.
— — — Kosten 404.
Säuberung des Triebwassers 164.
Sauggefälle 245.
Saughöhe 151.
Saugkopf, Dillingen 240.
Schachtabteufungen 240.
Schadenbringende Hochfluten 620.
Schadenwelle 621.
Schädigung einer Wasserkraft 394.
Schaffhausen a. Rh. 463.
— Wasserkraftwerk 312.
Schaltanlage 281.
Schaltbrett 322.
Schalttafel 322.
Schaltung der Elektrizitätswerke, gemeinsame 334.
Schätzung von Abflußmengen 58.
Schellen um die Rohre 215.
Schematische Darstellung der Wasserkräfte 12.
Schieber 203.
Schiefe Ebenen 371.
Schiffbarem Fluß, Kraftgewinnung an einem 369.
Schiffbarkeit des Mississippi 382.
Schiffahrt 87, 365.
— Förderung in Amerika 564.
— Forderungen der 87.
— auf oberitalienischen Kanälen 542.
— für die Schleusungen, Bedarf der 87.
— und Landeskultur, Vereinigung der Interessen 623.
Schiffahrtsstraßen 556.
Schiffahrtskanal, Masurischer 229.
— vom Mauersee nach der Alle 492.
Schiffahrtsverhältnisse auf dem Rhein oberhalb Straßburg 376.
Schiffahrtszwecke, Kraftbedarf für 371.
— Staubecken für 124.
— Wasserkräfte für 371.
Schiffahrts- und Kraftgewinnungszwecke 490.
— — Kraftzwecke, ausgeführte Anlagen 371, 381.
Schiffsdurchlaß 366.
Schiffsmühlen 87.
Schiffsschleuse 376.
Schiffsverkehr 87.
Schlammablagerungen 135.
Schleppzug, elektrischer 381.
Schleppzugbetrieb 371.
Schlesien 623.
— Gebirgsflüsse 620.
— Stauraum der Sammelbecken 622.

Schlesien, Talsperrenanlagen 595.
Schlesische Hochwasserschutzbecken 588.
Schleusen 371.
Schleusen, zweckmäßigster Betrieb an 379.
Schleuseneinrichtungen, elektrische 378.
Schleusengefälle 371.
— Ausnutzung 378.
Schleusenkanäle 370.
Schleusungen, Bedarf der Schiffahrt für die 87.
Schmiedeeisen 188.
Schmier- und Putzmaterial 409.
Schneeschmelze der Gletscher 619.
Schönheit der Landschaft 582.
Schürfungen 26.
Schutz der Schwachstromleitungen 354.
— vor Steinfall 159.
Schutzeinrichtungen (Hörnergattung) 336.
Schützenwehr 368.
Schwachstromleitungen, Schutz der 354.
Schwamkrugturbinen 277.
Schwankungen in der Energieabgabe 429.
— — — Inanspruchnahme des Elektrizitätswerkes Kubel 461.
Schwarzwald, Abflußmengenmessungen im 70, 71.
Schweden 555.
— Verwertung der Wasserkräfte 557.
Schweinfurt, Elektrizitätswerk 356, 455.
Schweißung mit Wassergas 189.
Schweiz 510.
— Elektrizitätswerke 513.
— Karte der Elektrizitätswerke 514.
— geplante Kraftanlagen 521.
— Niederschlagshöhe 515.
— künstliche Staubecken 512.
— nutzbar gemachte Wasserkräfte 513.
— Wasserkraftanlagen 516.
— Wasserkraftfrage 525.
— Wasserkraftnutzung der einzelnen Kantone 520.
— Wasserkraftwerke 517.
Schweizerische hydrometrische Bureaux 11.
— Wasserkräfte 399.
— Wasserkräfte, Elektrizitätswerke, Tarife 465.
Schweizerischer Nationalrat und Ständerat 527.
Schwimmermessungen 47.
Seen, Kraftausnutzung 227.
Seebecken 227.
Seenplatte, Masurische 230.
Sekundliche Abflußmenge 52.
Seilantrieb 371.
Seilbahn 225.
Seilübertragung 255, 312.
Seitenkanal 370.
Selbstaufzeichnende Meßvorrichtung 51.
— Regenmesser 43.
Selbstkosten 409, 412, 439.
— im Verhältnis zum Belastungsfaktor des Werkes 443.
— der elektrischen Energie 419.
— Preisunterschied 470.
— des elektrischen Stromes in städtischen Zentralen 415.
— von Wasser- und Dampfkraftanlagen an kanalisierten Flüssen 494.
Selbstkostenberechnung 453.
— Betriebskosten- und 86.
Selbstkostenpreis für die Krafteinheit 86.
Sengbachtal 596.
— Regenhöhen und Abflußmengen 64.
— Talsperre 19, 610.
Shaviniganfall 564.
Sicherheit des Betriebes 385.
Sicherheitsventile 202, 205, 208, 216.
Sicherung des Betriebes 333.
Sicherungen für die Bleiabdichtung 200.
— an Druckleitungen, Ausrüstungen und 202.
— an der Turbine 217.
Sickerverluste 101.
Sillwerke 144.
— Druckleitung 219.
— Stollen und Wasserschloß 171.
Skandinavien 558.
Sohle, Befestigung 154.
Sohlenlage des Triebkanals 128.
Solingen 327, 596, 606.
— Betriebskanal 154.
— Kosten 402.
— Kraftwerk der Stadt 249.
— Niederspannungsnetz 351.
— Stollen 168.
— Talsperre 19.
— Talsperrenanlage, wasserwirtschaftliche Ergebnisse 454.
— Talsperren-Kraftwerk 445.
— Verteilungsnetz 351.
— Wasser- und Elektrizitätswerk 135.
— — — — Betriebsplan 107.
Sozialer Gedanke der Kraftverteilung 563.
Sozialpolitiker in Amerika 585.
Sozialpolitischer Gedanke 503.
Sozialwirtschaftliches Unternehmen 521.

Spanien 507.
Spannungen in den Maschinen 339.
Spannungssteigerung 319.
Speisung des Rhein-Hannover-Kanals 620.
— des Untergrundes 79.
Speisungswasser für Kanäle, Hebung von 372.
Spindelschieber 203.
Spitzen des Kraftverbrauchs 92, 255.
Staatliche Förderung der Wasserkraftnutzung 538, 552.
— Zwecke, Talsperrenbau für 628.
Staatswirtschaftliche Erträge der Transportverbilligung 564.
Staatszwecke, Wasserkräfte für 617.
Städtische Elektrizitätswerke, Anlagekosten 394.
— — Statistik 473.
— Wasserleitungen für Kraftzwecke 315.
— — Wasserkraftnutzungen daraus 315.
— Zentralen, Selbstkosten des elektrischen Stromes 415.
Staffelartiger Ausbau der Sammelbecken 236.
Staffeln, Talsperren in 237.
Standard-Modell 278.
Standrohre 205, 206.
Statistik für Deutschland 605.
— der deutschen dampfbetriebenen Elektrizitätswerke 413.
— der öffentlichen Elektrizitätswerke in England 562.
— städtischer Elektrizitätswerke 473.
— der Wasserkräfte 504.
Statut der Ennepetalsperrengenossenschaft 456.
Stau im Flusse 128.
Stauanlagen 366.
Stauanlage von Güdingen an der Saar 492.
Staubecken 99, 624.
— für Kraftgewinnung 18.
— Mescheder 19.
— für Schiffahrtszwecke 124.
— wasserwirtschaftliche Ergebnisse 453.
Staufläche und Stauinhalt, Kurven 21.
Stauhöhe 234.
— Stauinhalt und überstauter Fläche, Beziehung zwischen 21.
Stauhöhen einer Talsperre und den Kosten, Beziehungen zwischen 22.
Stauinhalt 32, 74.
— und überstauter Fläche, Beziehung zwischen Stauhöhe 21.
Stauinhalt und Staufläche, Kurven 21.
— Sammelbecken von großem, in Nordamerika 565.
Staukurve 156.
Stauraum der schlesischen Sammelbecken 622.
Staustufe »Aldegund« (Mosel) 496, 498.
Stauwärter, Dienstanweisung 38.
Stauweiher als Akkumulator 412.
— große 565.
— in Sachsen 624.
— in den Vogesen 457, 590.
Steinfall, Schutz vor 159.
Steinkohle 526.
Steuern 408.
Stickstoff der Luft, Nutzbarmachung 503.
Stollen 150, 158.
— Kosten 397.
Stollenanlagen, Beispiele von ausgeführten 168.
Stollenführung 160.
Stollenquerschnitte 168.
Strahlablenkungsregulatoren 209.
Strahldicke 53.
Straßenbahnbetrieb 614.
Stromabgabe, Verteilung auf die Monate 449.
— Einrichtungen, 323.
— im Jahresverlaufe 474.
— für Kraft, Licht und öffentliche Beleuchtung, Verhältnis 473.
— Verteilung auf die einzelnen Monate 453.
Stromabnehmer 405.
Stromart 324.
— Gründe für die Wahl 327.
Ströme, unterer Lauf 587.
Strommaschinen, Vereinigung der 321.
Stromschleifen 499.
Stromspannungen 317.
Stromstrich 245.
Stromverbände 628.
Stromverbrauch in den Umformern 453.
Stryj-Fluß 531.
Sturm- und Drangperiode 566.
Südamerika 568.
Svartånwasserfall 559.
System, einheitliches 627.
— der Kraftverteilung 563.
Systemlose Ausbeute der Wasservorräte 523.

T.

Tabelle der Niederschläge in Deutschland 45.

Tage mit Wassermangel, Kurve 85.
Tagesausgleich, Größe eines Ausgleichweihers für 94.
Tagesausgleichweiher 92.
Talbecken, geeignete 623.
— zur Wasseraufspeicherung, Wahl 17.
Täler, Betriebskraft in abseits gelegenen 469.
Talgefälle 129.
Talsperre Marklissa, Betriebsplan 119.
— — als Hochwasserschutzbecken 119.
— bei Mauer 621.
— Nordhausen a. Harz 612.
— — Betriebsplan der 106.
— Sengbach- 19, 610.
— Solinger 19.
— Kosten der Solinger 403.
— und den Kosten, Beziehungen zwischen den Stauhöhen einer 22.
Talsperren 4, 98, 262.
— Ausbau 622.
— Eigengefälle 234.
— Entwurfsbearbeitung 37.
— Gründungsarbeiten 23.
— für Niederdruckwerke, Nutzwirkung 109.
— Nutzbarkeit 620.
— Querschnitt 609.
— Staffeln 237.
— Unterhaltungskosten 453.
— Vereinigung mehrerer Zwecke in den 619.
— Wasserspiegelschwankungen 233.
Talsperrenanlagen in Rheinland und Westfalen 592.
— im Harz, neuere 596.
— in Schlesien 595.
— im Wupper- und Ruhrgebiet 588.
Talsperren- und Wasserkraftanlagen, Entwurfsaufstellung 35.
Talsperrenbau 37.
— und die deutsche Wasserwirtschaft 79, 620.
— geschichtliche Entwicklung 4.
— für staatliche Zwecke 628.
Talsperrenbauten in Böhmen 529.
Talsperrenentwürfe, Prüfung und Genehmigung 38.
Talsperrenkraftwerk Nordhausen 286.
— — vergleichende wirtschaftliche Aufrechnungen 417.
— Solingen 445.
— und Wärmekraftaushilfe, Betriebsvereinigung 480.
Talsperrenkraftwerk, Wasserwirtschaftspläne 98.
Tangentialräder 275.
Tarife 404, 438.
— Regelung 444.
— schweizerischer Wasserkraft-Elektrizitätswerke 465.
— und Betriebsergebnisse von neueren Wasserkraft- und Talsperrenunternehmungen 445.
Tarifgestaltung 438.
Technik, hydraulische 516.
Technische Grundlagen zur Ausnutzung der Wasserkräfte 42.
Teiche, Harzer 5.
Teilung des Niederschlagsgebietes 236.
Teltow-Kanal 381.
Tilgung 408.
— Begriff der 409.
Titicacasee 569.
— Nutzbarmachung 231.
— Tunnel 232.
Transformierung 339.
Transportverbilligung, staatswirtschaftliche Erträge 564.
Traungebiet 529.
Treibeis 142, 581.
Trennung von Kraft- und Lichtleistung 339.
Triebbäche, Ziel der Wasserkraftverwertung 98.
Triebkanal, Sohlenlage 128.
Triebwasser, Säuberung 164.
Triebwerke, Aufschlagmengen 97.
Triebwerkkanäle 150.
— und Stollen, Gefälle 166.
Trinkwasser, Jahresbedarf 597.
Trinkwasserversorgung 417, 597, 611.
Trockenperiode 75.
Trollhättan-Fälle, Wasserkräfte der 382.
— -Kanal 558.
Tropengegenden 624.
Tunnel 227, 499.
— Anschneiden eines Sees mittels 226.
Tunnelanlagen, Ausnutzung der Wasserkräfte mittels 499.
Turbinen 2.
— Abfluß aus den 151.
— Herstellung 277.
— Kosten 399.
— Regulierung 280.
— Sicherungen 217.
— Versuchsergebnisse 275.
— Wasserbeaufschlagung 184.

Turbinenbetrieb 235.
Turbinenbremsungen 281.
Turbineneinheiten 258.
Turbinenkammern in Eisenbeton 252.
Turbinenkanäle 249.
Turbinenkonstruktionen 267.
Turbinenpfeiler mit Nadelwehr 366.
Turbinenregulierung 210.
Turbinensysteme, Raumbeanspruchung der 255.
Turbinentypen 259.
Turbinenzahl, Wahl 259.

U.

Überfall, Geschwindigkeit am 53.
— Wassermessung durch 281.
Überfallwehr 67.
— Versuche an einem 53.
Überlandzentralen 3, 317, 502, 585.
Überschläge von Ausführungskosten 401.
Übersicht der Vorarbeiten 7.
Überstaute Fläche, Beziehung zwischen Stauhöhe, Stauinhalt und 21.
Übertragung, elektrische 316.
Übertragung, Kosten 319.
— Lauffen-Frankfurt 4.
— durch Riemen 255.
— — Seil 255.
— — Zahnrad 255.
Übertragungsanlagen, Gesamtdisposition von elektrischen 337.
Übertragungsspannungen 318.
Übertragungsweiten 318,
Uferstaaten, Zweckverbände 628.
Umdrehungsgeschwindigkeit 274.
Umformer, Stromverbrauch 453.
Umformerstationen 323.
Umformung der natürlichen Energie 243.
Umleitung des Wassers, Gewinnung von Gefälle durch 160.
Umwälzung, wirtschaftliche 615.
Umwandlung einer Stromart 321.
Ungarn 530.
Unmittelbare Betriebskosten 408.
— — in deutschen dampfbetriebenen Elektrizitätswerken 414.
— — — öffentlichen Elektrizitätswerken 466.
Unterbau der Kraftwerke, Ausbildung 249.
Unterbrechung des Betriebes 86.
Untere Ruhr, Wasserverhältnisse 85.
Untergrund, Speisung 79.
Untergrundverhältnisse 23.
Unterhaltung der Kraftanlagen 409.
Unterhaltungskosten der Talsperren 453.
Unterkanal 151.
Unternehmungsgeist 566.
Unterstationen 323.
Untertürkheim, Elektrizitätswerk 455.
Urfttalsperre 20.
— Abflußmengen 84.
— Betriebsplan 104.
U. S. Geological Survey 568.

V.

Vagabundierende elektrische Ströme 191.
Valtellina-Bahn 539.
Ventile an Rohrleitungen 202.
Veranschlagung von Kraftanlagen 401.
Verbindung der Rohre 198.
Verbrauchs, Spitzen des 255.
Verbrauchsmittelpunkt, Krafterzeugung an einem 422.
Verbrauchsschaubilder 255.
Verdunsten, Verluste durch Versickern und 100.
Verdunstung, Verteilung der 102.
Verdunstungshöhe 69, 101.
Verdunstungsmessungen 101.
Verdunstungsverluste 101.
Vereinigte Staaten von Nordamerika 568.
— — hydrographischer Dienst 568.
Vereinigung hoher Gefälle 619.
— der Strommaschinen 321.
— mehrerer Zwecke in den Talsperren 619.
— von Wasser- und Wärmekraft 361.
Verfügbare Kraft, Ertragsberechnungen 408.
Vergleich der Einheitspreise mechanischer Kräfte 468.
— — Wirkungsgrade der Wasser- und Wärmekraftnutzung 475.
— zwischen Wasser- und Wärmekraft in ihrer wirtschaftlichen Bedeutung 466.
Vergleichende wirtschaftliche Aufrechnungen für den Bau des Talsperrenkraftwerkes der Stadt Nordhausen am Harz 417.
Vergleichsrechnung für eine Wärme- und Wasserkraftanlage von 1000 PS. Nutzleistung 483.
Verhältnis der mittleren zur Höchstleistung 92.
— des Niederschlags und Abflusses, prozentuales 63.

Verhältnis der Stromabgabe für Kraft, Licht und öffentliche Beleuchtung 73.
Verlegen der Rohrleitung 219.
Verluste durch Versickern und Verdunsten 100.
Verlusthöhe 67.
Vermessung des Geländes 28.
Verminderung des Betriebes 86.
Verpachtung der Wasserkräfte 440.
Verschiedenartige Inanspruchnahme des Werkes, Einfluß der 442.
Verschlammungen in Rohrleitungen 180.
Verschleuderung der Wasserkräfte 526.
Versicherungsbeiträge 411.
Versickern und Verdunsten, Verluste durch 100.
Verstaatlichung der Wasserkräfte 503, 522, 523.
— — — in Deutschland 617.
Verstärkung des Kraftwassers 623.
— der Wandungen 192.
Versuche der Compagnie de l'Industrie Électrique et Mécanique in Genf 324.
— an einem Überfallwehr 53.
Versuchsergebnisse mit einer Turbine 275.
Verteilung der Energieabgabe auf die einzelnen Monate 474.
— — Niederschläge auf die Jahreszeit 46.
— — Stromabgabe auf die einzelnen Monate 453.
— — Verdunstung 102.
Verteilungsnetz Solingen 351.
Verteilungsnetze, ausgeführte 350.
— neuerer Wasserkraftelektrizitätswerke 350.
Verwertung der atmosphärischen Kraft 503.
— — Sammelbecken für die Wasserkraftnutzung 79.
— — Wasserkräfte 317.
— — — elektrochemische 546.
— — — gewerbliche 316.
— — — kaufmännische 578.
— — — in Schweden und Norwegen 557.
— — — an Wehren 492.
— — — Wirtschaftsgebiete für die 502.
Verzettelung in planlose Einzelanlagen 628.
Verzinsung des Anlagekapitals 409.
Viktoria-Fälle des Zambesi, Ausnutzung 325.
— -Grube (Mich.), Wasserkraftdruckanlage 242.
— -Wasserfälle 509.
Vogesen, Stauweiher 457, 590, 596.
Volkswirtschaftlicher Gewinn 493.
Vorarbeiten 7.
— Beispiele 59.
— zu ausgeführten Wasserkraftunternehmungen 416.
Vorbecken 165, 597.
Vorderindien 508.
Vorentwürfe 401.
Vorgebirge 621.
Vorgebirgsbezirke des Riesengebirges 616.
Vorhandensein der nötigen Wasserkräfte 615.
Vorschriften für die Entwürfe zu Wasserkraftanlagen 35.
Vorteile des Kleinmotors 471.
Voruntersuchungen 401.
— für eine Talsperren- und Wasserkraftanlage 485.

W.

Wahl des Betriebstromes 324.
— der Stromart, Gründe 327.
— eines Talbeckens zur Wasseraufspeicherung 17.
— des Turbinensystems 270.
— der Turbinenzahl 259.
Walzenwehre 366.
Wandstärke von Rohren 192.
Wandstärken, Berechnung der 187, 221.
Wangen a. d. Aare, Betriebskanal 157.
— Elektrizitätswerk 139, 300, 360.
Wärmekraftanlagen 75, 362, 466.
Wärme- und Wasserkraftanlage von 1000 PS. Nutzleistung, Vergleichsrechnung 483.
Wasser, doppelte Ausnutzung 248.
Wasserabfluß, Ausgleich 70.
— Bestimmung 42.
Wasserabflußmengen, Messungsergebnisse von Niederschlagshöhen und 60, 61.
Wasserabflußverhältnisse 32.
Wasseransammlung in hochgelegenen Behältern 95.
Wasseraufnahmefähigkeit 80.
Wasseraufsammlung 96.
Wasseraufspeicherung 584.
— bei natürlichen Seen 225.
— Wahl eines Talbeckens 17.
Wasserausgleich durch Aufspeicherung 619.
Wasserbeaufschlagung der Turbinen 184.
Wasserbedarf für den Betrieb des Kraftwerks 99.
Wasserentziehung 34.
— Entschädigung 41, 408.

Wasserfassung der Hochdruckwerke 128.
Wasserfassungseinrichtung 129.
Wasserführung, Ausgleich 86.
Wassergas, Schweißung mit 189.
Wassergeschwindigkeit 152, 168.
— bei Rohrleitungen 185.
Wassergesetz, bayrisches 619.
— sächsisches 619.
Wasserhaushalt 79.
— von Sammelbecken 99.
Wasserhebung 245, 597.
Wasserkataster 515.
Wasserkraft, Kleinverteilung 493.
Wasserkräfte in den bayrischen Alpen 599.
— für den Bahnbetrieb 502.
— Bau- und Betriebskosten 390.
— Betriebssicherheit 414.
— in Deutschland, Verstaatlichung 618.
— Dezentralisierung 312.
— in Frankreich 544.
— — —, nutzbar gemachte 545.
— technische Grundlagen zur Ausnutzung 42.
— Gebundenheit 615.
— Geldwert 8.
— als Handelsware 527.
— an Kanälen und kanalisierten Flüssen, Wert 490.
— Kosten 388.
— Kraftübertragungen 319.
— Mehrwert gegenüber Wärmekräften 414.
— Mietswert 426.
— Monopolisierung 525.
— nutzbar gemachte 505.
— Nutzbarkeit 401.
— Pachtwert 426.
— Schädigung 394.
— schematische Darstellung 12.
— für Schiffahrtszwecke 371.
— der Schweiz 399.
— — nutzbar gemachte 513.
— für Staatszwecke 617.
— Statistik 504.
— der Trollhättan-Fälle 382.
— Verpachtungen 440.
— Verschleuderung 526.
— Verstaatlichung 503, 522.
— Verstaatlichungsbestrebungen 523.
— kaufmännische Verwertung 578.
— Vorhandensein der nötigen 615.
— an Wehren, Verwertung 492.
— der Weser 376.
Wasserkräfte durch die Wuppertalsperren gewonnen 458.
Wasserkraftanlagen in Amerika 399, 573.
— Ausführungskosten 392.
— mit Ausgleichbecken 408.
— in England 561.
— Entwurfsaufstellung für Talsperren und 35.
— in Frankreich 550, 551.
— Gesamtkosten 389.
— Kapitalwert 395.
— in Oberitalien 540, 541.
— Projektierung 80.
— in Österreich-Ungarn, neuere 532, 533, 535.
— der Schweiz 516.
— Vorschriften für die Entwürfe 35.
— Wert 394.
Wasserkraftaushilfe 80.
Wasserkraftausnutzuug, staatliche Förderung 552.
Wasserkraftdruckanlage der Victoria-Grube (Mich.) 242.
Wasserkraftentwürfe 255.
Wasserkraftfrage 627.
— der Gegenwart 501.
— gesetzliche Regelung 554.
— der Schweiz 525.
Wasserkraftkataster 14, 530.
— Instruktion 15.
Wasserkraftmaschinen 3.
— Entwicklung 2.
Wasserkraftnutzung in Deutschland 586.
— am Gewinnungsort und die Fernübertragung 308.
— an kanalisierten Flüssen 361, 364.
— der einzelnen Kantone der Schweiz 520.
— Länder mit beginnender Entwicklung 506.
— Verwertung der Sammelbecken für die 79.
— staatliche Förderung 538.
— aus städtischen Leitungen 315.
— wirtschaftspolitische Verhältnisse 522.
Wasserkraftstatistik 14.
Wasserkraft-Überlandzentralen, Kosten von elektrischen Anlagen bei 400.
Wasserkraftunternehmungen, Betrieb 411.
— in den Apenninen 542.
— in Deutschland, Entwürfe 625.
— — — neuere 600.
Wasserkraftverwertung, leitende Gesichtspunkte für die deutsche 615.

Wasserkraftverwertung, wirtschaftspolitische Momente in der amerikanischen 583.
— Entwicklung 502.
— an den Triebbächen, Ziel der 98.
Wasserkraftwerk Schaffhausen a. Rh. 312.
Wasserkraftwerke, Betrieb 467.
— in Gebirgsflüssen 80.
— Gesamtanordnung einiger 286.
— in der Schweiz 517.
Wasserkraftzentralen mit Dampfaushilfe 363.
Wasserleitungen für Kraftzwecke, Städtische, Betriebskosten 315.
Wassermangel 75.
— Beziehung zwischen Aufschlagwassermenge und 82.
— Kurve der Tage mit 85.
— Zusammenhang zwischen Aufschlagwassermenge und 76, 77.
Wassermenge 42.
— lebendige Kraft 207.
Wassermengenkurve 49.
Wassermessung durch Überfall 281.
Wassermessungen am Wehr 50.
Wassermotoren 7, 255, 266.
— Grundanforderungen 270.
Wassermühlen 1.
Wasserräder 2, 267.
Wasserrecht 477, 531, 619.
Wasserrechtskonzessionen 525.
Wasserschäden 408.
Wasserschloß 161.
Wasserspiegelgefälle 151.
Wasserspiegelschwankungen des Sammelbeckens 487.
— an der Talsperre im Eschbachtale 233.
Wasserstand, Absenkung 55.
Wasserstände 125.
Wasserstandsanzeiger 282.
Wassertriebwerke, Zusammenschluß der Pumpwerke und 618.
Wasserüberfluß im Winter 425.
Wasserverhältnisse der unteren Ruhr 85.
— im Wupper- und Ruhrtale 81.
Wasserverluste im Becken 122.
— im fließenden Wasser 103.
Wasserversorgungsbedarf 111.
Wasservorräte, systemlose Ausbeute 523.
Wasserwerk Hannover 297.
Wasserwirtschaft, einheitliche 615.
— im Gebirge 586.
— Talsperrenbau und deutsche 620.
Wasserwirtschaftliche Ergebnisse der Solinger Talsperrenanlage 454.
Wasserwirtschaftliche Ergebnisse der Staubecken 453.
— — — Wuppertalsperren 459.
Wasserwirtschaftsplan 74, 262.
— Aufstellung 99.
Wasserwirtschaftspläne für Talsperren-Kraftwerke 98.
Wasser- und Dampfkräfte an der Mosel und Saar, Anlagekosten für Gewinnung von 496.
— — — — — Betriebskosten bei der Gewinnung 497.
— — — — — — Saar, Betriebskostenvergleich 493.
— — Dampfkraftanlagen an kanalisierten Flüssen 493.
— — — — — — — Baukosten 391.
— — Elektrizitätswerk Solingen 135.
— — Wärmekraft, Vereinigung von 361.
— — — in ihrer wirtschaftlichen Bedeutung, Vergleich 466.
— — Wärmemaschinen 362.
Wechselnde Gefällhöhen 279.
Wechselstrom 324.
Wehre 50, 129, 131, 366.
— Aufstauung 129.
— bewegliche 127.
— Kosten 395.
— Meßeinrichtung mit massivem 52.
— Niederlegung 365.
Wehrabfluß 366.
Wehrabflußermittlungen 134.
Wehrbreite, Berechnung der 127.
Wehreinrichtungen 135.
Wehrhöhe 125.
Wehrlage 131.
Wehrrückens, Höhe des 126.
Wehrüberlauf 51.
Weiher, Anlage kleiner 92.
»Weiße Kohle« 318, 510.
Weißeritzgebiet 624.
Welland-Kanal 583.
Wert der Anlage 387.
— einer Wasserkraftanlage 394.
— der Wasserkräfte an Kanälen und kanalisierten Flüssen 490.
Weser 495.
— Wasserkraft 376.
Wesergebiet 623.
Westfalen 591, 592.
Westpreußens Wasservorräte 231.
West- und Ostpreußen 619.
Widerstandshöhen 179, 219.

Wiedergewinnung elektrischer Kraft 502.
Wiesenbewässerung 394.
Windkessel 205.
Winterzeit, Kraftüberschuß 475.
Wirkung der Moore und Sümpfe, ausgleichende 71.
Wirkungen, dynamische 252.
Wirkungsgrad, 7, 274.
— der Dampfmaschine 475.
— der Umsetzung und elektrischen Fernübertragung der Wasserkräfte 346.
— Kurve 346.
— der Wasser- und Wärmekraftnutzung, Vergleich 475.
— wirtschaftlicher 261.
Wirtschaftlich vorteilhafteste Anlage 483.
—-kaufmännische Überlegungen 384.
Wirtschaftliche Auffassungen 387.
— Aufrechnungen 8.
— Bedeutung des Sammelbeckens 456.
— — des Wassers 586.
— Grenze der Fernübertragung der Kräfte 319.
— Grundlagen zur Ausnutzung der Wasserkräfte 384.
— Konzentrationen 585.
— Umwälzung 615.
Wirtschaftlicher Wirkungsgrad 261.
Wirtschaftliches Leben, Faktoren 385.
— Moment der produktiven Arbeit des Wassers 615.
Wirtschaftlichkeit einer Betriebsgemeinschaft 364.
— von Wasserkraftanlagen, Grenze 399.
Wirtschaftsgebiete für die Verwertung der Wasserkräfte 502.
Wirtschaftspolitische Momente in der amerikanischen Wasserkraftverwertung 583.
— Verhältnisse der Wasserkraftnutzung 522.
Witterung, Angriffe 253.
Wirtschaftszwecke des Wassers 622.
Wohlfahrtseinrichtungen 411.
Wohnräume für den Maschinisten 281.
Wolchow-Schnellen 506.
Wupper 108.
— Höhen- und Lageplan der 33.
— Querschnitte der 34.
Wupper- und Ruhrgebiet, Talsperrenanlagen 588.
Wupper- und Ruhrtal, Wasserverhältnisse im 81.
Wuppergebiet 592.
Wuppertalsperren, Unterhaltungskosten 460.
— Betriebspläne für die 106.
— durch diese gewonnene Wasserkräfte 458.
— wasserwirtschaftliche Ergebnisse 459.
—-Genossenschaft 460.

Z.

Zahnradübertragung 255.
Zambesi 509.
Zentralbureau, österreichisches hydrographisches 14.
Zentralisierung des Betriebs 256.
Zentralkraftwerk 238.
Zentralverwaltung 411.
Zerlegung der Kraftgesamtheit 258.
— eines großen Stauraumes in Einzelbecken 236.
Ziel der Wasserkraftverwertung an den Triebbächen 98.
Zinsen der Anlagekosten 408.
Zuflußsummen-Linie 120.
Zugförderung, elektrische 502, 534.
Zusammenfassung großer Gefälle 623.
Zusammenhang zwischen Aufschlagwassermenge und Wassermenge 76, 77.
Zusammenschluß der Pumpwerke und Wassertriebwerke 618.
Zürich a. d. Albula, Kraftwerk der Stadt 330.
Zuschußwasser 106.
— aus Sammelbecken 75.
Zwangsenteignung 526.
Zweckverbände der Uferstaaten 628.
Zwickauer Mulde 624.

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.

b89090523119

b89090523119A